

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Evaluación y propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de  
agua potable de la ASADA Paquera de Puntarenas”**

María Mónica Chavarría Villalobos

CARTAGO, Diciembre, 2019

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica  
Ingeniería Ambiental

**“Evaluación y propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA Paquera de Puntarenas”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado de Licenciatura

**Miembros del tribunal**



**Ing. Lilliana Gaviria Montoya**  
Directora



**Ing. Macario Pino Gómez**  
Lector 1



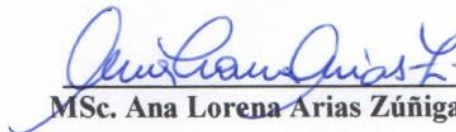
**Ing. Jorge Calvo Gutiérrez**  
Lector 2



**MSc. Diana Alexandra Zambrano Piamba**  
Coordinadora COTRAFIG



**MSc. Ricardo Coy Herrera**  
Director Escuela de Química



**MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga**  
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, Florita y Rubén y a Mariam, mi hermana. Por todo el apoyo, paciencia y sobre todo el amor que me han dado siempre. ¡Este logro es para ustedes!*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Junta Directiva de la ASADA Paquera, a los fontaneros, a las secretarias y especialmente a Roy Arias Gómez. Por la ayuda brindada, por recibirme y atenderme de la mejor forma durante cada una de las visitas y consultas realizadas.

A mi familia, a mis amigos y amigas que estuvieron en todo el proceso o en alguna parte de este. Especialmente a María José Araya, Ana María Montero, María Fernanda Chacón y Lucía Sandí. ¡Infinitas gracias por su apoyo, compañía y cariño!

A la profesora Lilliana Gaviria y al profesor Macario Pino por el acompañamiento, dedicación, guía y todo el conocimiento brindado en estos años de aprendizaje y durante el proyecto de graduación.

Al personal de la Carrera de Ingeniería Ambiental, especialmente al profesor Jorge Calvo, por ser una guía, un apoyo y un amigo durante todos estos años de universidad. ¡Muchísimas gracias! A la profesora Laura Quesada y al profesor Luis Valerio, por su apoyo y consejo. A Marco Méndez ¡gracias por su paciencia y tiempo!

Al Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos CEQIATEC, por colaborar con los análisis microbiológicos, especialmente a la profesora Andrea Quesada y a Andrea Araya.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
2.1	<i>Objetivo general</i>	2
2.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
<b>3</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
3.1	<i>Aspectos generales</i>	3
3.2	<i>ASADAs</i>	4
3.3	<i>Potabilización del agua</i>	5
3.4	<i>Evaluación de ASADAs</i>	9
3.4.1	<i>Antecedentes</i>	10
3.5	<i>Legislación</i>	11
3.6	<i>Riesgos de saneamiento</i>	12
3.6.1	<i>Instalaciones de Saneamiento</i>	12
3.6.2	<i>Disposición de aguas residuales</i>	14
3.7	<i>Cambio climático</i>	15
<b>4</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>17</b>
4.1	<i>Lugar de estudio</i>	17
4.2	<i>Herramientas de diagnóstico</i>	18
4.2.1	<i>Guías de Inspección SERSA: Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud</i>	18
4.2.2	<i>Formulario Unificado del ICAA</i>	19
4.3	<i>Diagnóstico agua potable y saneamiento comunidad</i>	20
4.4	<i>Metodología para análisis de calidad agua</i>	22
4.4.1	<i>Muestra de agua potable</i>	23
4.4.2	<i>Muestra de agua superficial</i>	24
4.5	<i>Demanda de cloro</i>	26
4.6	<i>Propuesta para Implementar un Filtro Lento Arena</i>	27
4.7	<i>Análisis Oferta y Demanda de Agua</i>	29
4.7.1	<i>Oferta del recurso hídrico</i>	29
4.7.2	<i>Demanda actual del recurso hídrico</i>	29
4.7.3	<i>Demanda futura del recurso hídrico</i>	30

<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>33</b>
5.1	<i>Descripción de los sistemas de abastecimiento</i>	33
5.1.1	Fuentes de Abastecimiento (FA)	34
5.1.1.1	FA. Naciente el Tigre	34
5.1.1.2	FA. Pozo Cuchillo	37
5.1.1.3	FA. Pozo Laberinto	37
5.1.1.4	Toma de agua superficial	38
5.1.2	Tanque de Almacenamiento (TA)	40
5.1.2.1	TA Guarial	40
5.1.2.2	TA Cuchillo	41
5.1.2.3	TA Laberinto	41
5.1.3	Sistema de cloración	42
5.1.3.1	Guarial	42
5.1.3.2	Cuchillo	43
5.1.3.3	Laberinto	44
5.1.4	Línea de Conducción	45
5.1.5	Línea Distribución	47
5.1.5.1	Resumen de riesgos identificados en los componentes de la ASADA Paquera	48
5.2	<i>Formulario Unificado</i>	50
5.3	<i>Diagnóstico de la comunidad</i>	54
5.4	<i>Análisis de calidad del agua</i>	60
5.5	<i>Demanda de Cloro</i>	64
5.6	<i>Fuente Superficial</i>	67
5.7	<i>Análisis oferta y demanda</i>	69
5.7.1	Oferta del recurso hídrico	69
5.7.2	Demanda actual del recurso hídrico	72
5.7.3	Demanda futura del recurso hídrico	75
5.8	<i>Opciones de mejora para el fortalecer la gestión de la ASADA Paquera</i>	80
5.8.1	Evaluación de los componentes	80
5.8.2	Gestión de la ASADA	88
5.8.3	Aspectos en la Comunidad	89
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>92</b>

<b>8</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>93</b>
	<b>APÉNDICES</b>	<b>99</b>
	<b>Apéndice 1: Guías de Inspección SERSA: Fuentes</b>	<b>101</b>
	<b>Apéndice 2: Guías de Inspección SERSA: Tanques de almacenamiento</b>	<b>106</b>
	<b>Apéndice 3: Guías de Inspección SERSA: Sistemas de cloración</b>	<b>109</b>
	<b>Apéndice 4: Guías de Inspección SERSA: Línea de conducción</b>	<b>112</b>
	<b>Apéndice 5: Guías de Inspección SERSA: Línea de distribución</b>	<b>116</b>
	<b>Apéndice 6: Formulario Unificado</b>	<b>119</b>
	<b>Apéndice 7: Encuesta</b>	<b>120</b>
	<b>Apéndice 8: Análisis Nivel Primero (N1)</b>	<b>124</b>
	<b>Apéndice 9: Resultados Análisis Demanda de Cloro</b>	<b>125</b>
	<b>Apéndice 10: Análisis Oferta y Demanda</b>	<b>126</b>
	<b>Apéndice 11: Formulas para diseño FLA</b>	<b>129</b>
	<b>Apéndice 12: Memoria de cálculo diseño FLA</b>	<b>133</b>
	<b>Apéndice 13: Diseño Filtro Lento Arena</b>	<b>137</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>139</b>
	<b>Anexo 1: Determinación demanda cloro</b>	<b>141</b>
	<b>Anexo 2: Reportes de Análisis de Calidad de Agua</b>	<b>143</b>
	<b>Anexo 3: Reportes de Aforos en Fuentes</b>	<b>145</b>
	<b>Anexo 4: Guía de Aforo</b>	<b>146</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Porcentaje de cobertura de agua según operador 2018. Adaptado de (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019) .....	4
Figura 3.2. Esquema general de una planta de tratamiento de agua por Filtración en Múltiples Etapas. Tomado de (Sánchez et al., 2006).....	6
Figura 3.3. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas. Tomado de (OPS & CEPIS, 2005). .....	7
Figura 3.4. Curva de demanda de cloro típica. Tomado de (Baltonado, 2017).....	8
Figura 3.5. Impactos anticipados del cambio climático en las infraestructuras de conducción de agua potable. Tomado de (Bollinger et al., 2014) .....	16
Figura 4.1. Ubicación del distrito Paquera y del lugar de estudio.....	17
Figura 5.1. Naciente El Tigre, agosto 2018.....	35
Figura 5.2. Antes y después de emergencia (octubre 2018). Fuente: (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018). .....	36
Figura 5.3. Naciente El Tigre diciembre 2018 .....	36
Figura 5.4. Pozo Cuchillo .....	37
Figura 5.5. Pozo Laberinto .....	38
Figura 5.6. Captación Agua superficial Río Guarial .....	39
Figura 5.7. Filtro para agua superficial.....	39
Figura 5.8. Tanque de almacenamiento Guarial.....	40
Figura 5.9. Tanque de almacenamiento Cuchillo .....	41
Figura 5.10. Tanque de almacenamiento Laberinto .....	42
Figura 5.11. Sistema de cloración del tanque de almacenamiento Guarial.....	43
Figura 5.12. Sistema de cloración del pozo Cuchillo .....	44
Figura 5.13. Sistema de cloración del pozo Laberinto .....	44
Figura 5.14. Línea de conducción Naciente El Tigre a TA Guarial agosto 2018 .....	45
Figura 5.15. Línea de conducción Naciente el Tigre a TA Guarial octubre 2018. Fuente: (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018). .....	46
Figura 5.16. Línea de conducción Naciente El Tigre a TA Guarial durante la rehabilitación Fuente: (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018). .....	46



Figura 5.17. Línea de conducción Naciente el Tigre a TA Guarial diciembre 2018.....	47
Figura 5.18. Línea distribución a Isla Cedros.....	48
Figura 5.19. Graficación de brechas en el funcionamiento .....	51
Figura 5.20. Porcentaje de encuestas aplicadas según comunidad.....	54
Figura 5.21. Lugar de disposición de las aguas residuales proveniente de distintas áreas del hogar .....	56
Figura 5.22. Percepción del principal problema ambiental .....	59
Figura 5.23. Nivel de satisfacción con respecto a servicios brindados por la ASADA .....	59
Figura 5.24. Curva de demanda de cloro en agua cruda de la naciente El Tigre de la ASADA Paquera .....	65
Figura 5.25. Curva de demanda de cloro en agua cruda del Pozo Laberinto de la ASADA Paquera .....	66
Figura 5.26 Curva de demanda de cloro en agua cruda del Pozo Paquera de la ASADA Paquera .....	66
Figura 5.27 Curva de demanda de cloro en agua cruda del Pozo Cuchillo de la ASADA Paquera .....	67
Figura 5.28. Comportamiento del caudal aforado de la Naciente El Tigre, Pozo Cuchillo y Pozo Laberinto durante enero del 2017 a abril 2019.....	71
Figura 5.29. Consumo por sector durante el año 2016, 2017 y 2018.....	72
Figura 5.30. Poblaciones proyectadas del distrito Paquera a partir de los diferentes métodos .....	76
Figura 5.31. Propuesta de diseño vista en planta del Filtro Lento de Arena .....	84
Figura 5.32. Propuesta de diseño Corte del Filtro Lento de Arena .....	85

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1 Niveles de la Escalera de Saneamiento Gestionado en Forma Segura .....	13
Cuadro 4.1. Clasificación del riesgo según Guía de inspección SERSA. Adaptado de (Poder Ejecutivo, 2015b) .....	18
Cuadro 4.2. Distribución por eje temático del peso y número de variable.....	19
Cuadro 4.3. Categorización de la ASADAs .....	20
Cuadro 4.4. Abonados activos abastecidos por la ASADA Paquera. ....	21
Cuadro 4.5. Puntos de muestreos en red de distribución para análisis de Nivel Primero (N1) .....	23
Cuadro 4.6. Equipos utilizados para medición de los parámetros.....	25
Cuadro 4.7. Metodología utilizada para los análisis N1 .....	26
Cuadro 4.8. Criterio de diseño recomendado para FLA.....	27
Cuadro 4.9. Población del distrito Paquera. ....	30
Cuadro 5.1. Resumen de riesgos según Fichas SERSA ASADA Paquera.....	49
Cuadro 5.2. Calificación por áreas de funcionamiento .....	50
Cuadro 5.3. Deficiencias en la evaluación por áreas de funcionamiento .....	52
Cuadro 5.4. Tratamiento al agua en los hogares.....	55
Cuadro 5.5. Disposición de los residuos sólidos ordinarios en las comunidades abastecidas por la ASADA Paquera .....	57
Cuadro 5.6. Análisis microbiológicos y medición de cloro residual del nivel primero (N1) tomados en la red de distribución del sistema Paquera y Cuchillo .....	61
Cuadro 5.7. Análisis físico-químicos del nivel primero (N1) tomados en la red de distribución del sistema Paquera y Cuchillo.....	63
Cuadro 5.8. Clasificación de la dureza en agua para consumo humano. ....	64
Cuadro 5.9. Reporte de análisis del Laboratorio Nacional de Aguas de las fuentes de abastecimiento de la ASADA Paquera.....	67
Cuadro 5.10. Análisis físico-químicos y microbiológicos en agua superficial .....	68
Cuadro 5.11. Ámbitos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FiME.....	68

Cuadro 5.12. Variables estadísticas para el caudal aforado de la Naciente El Tigre, Pozo Cuchillo y Pozo Laberinto durante enero del 2017 a abril 2019 .....	71
Cuadro 5.13. Promedios de dotación obtenidos a partir de los registros de consumo y abonados mensuales durante 2016, 2017 y 2018 .....	73
Cuadro 5.14. Variables estadísticas utilizadas para obtener la dotación por sistema para la ASADA Paquera .....	74
Cuadro 5.15. Tasas de crecimiento y poblaciones proyectadas para la población del distrito de Paquera.....	75
Cuadro 5.16. Proyección de la población del distrito Paquera y de la población abastecida por cada sistema de la ASADA .....	76
Cuadro 5.17. Estimación del Caudal máximo diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario para diferentes dotaciones.....	77
Cuadro 5.18. Balance de oferta y demanda para los sistemas.....	79
Cuadro 5.19. Parámetros de diseño y dimensionamiento de un filtro lento de arena para tratar el agua del Río Guarial .....	82
Cuadro 5.20. Características de las capas del filtro lento de arena para tratar el agua del Río Guarial .....	83
Cuadro 5.21 Dosis y caudal de hipoclorito de sodio ( $\text{HClO}_3^-$ ) para el caudal correspondiente a la FA. ....	87

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADA	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Rurales
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FA	Fuentes de Abastecimiento
FG	Filtración Gruesa
FGA	Filtro Grueso Ascendente
FGAS	Filtro Grueso Ascendente en Serie
FGDi	Filtro Grueso Dinámico
FiME	Filtración en Múltiples Etapas
FLA	Filtración Lenta en Arena
FU	Formulario Unificado de Información sobre Organizaciones Comunales Prestadores de Servicios de Agua Potable y Saneamiento
ICAA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
INTECO	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
NMP/100 ml	Número más probable de bacterias en 100 mililitros de agua
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
UFC/100 ml	Unidades formadoras de colonias en 100 mililitros de agua
SERSA	Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud
TA	Tanque de Almacenamiento
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias Costa Rica
SAP	Sistemas de Agua Potable
NR	No hay Reporte
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
Qmd	Caudal medio diario
QMD	Caudal máximo diario
QMH	Caudal máximo horario

## **RESUMEN**

Las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAS) son las organizaciones encargadas del servicio de abastecimiento de agua potable en zonas rurales de Costa Rica. Sin embargo, a pesar de tener el 32% de cobertura de abastecimiento, son organizaciones con algunas deficiencias en su gestión. Sumado a esto, las zonas rurales presentan una desigualdad en el acceso a saneamiento con respecto a la zona urbana del país (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019). En este proyecto se planteó evaluar la infraestructura de los componentes del acueducto de la ASADA Paquera y la gestión que se ejecuta, utilizando herramientas de diagnóstico como las fichas SERSA del Ministerio de Salud, así como el Formulario Unificado del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, además identificar riesgos en el sistema de saneamiento de las comunidades mediante la aplicación de una encuesta. Se determinó que los sistemas de cloración y la infraestructura de captación en la fuente superficial poseen los riesgos más altos. Las concentraciones de cloro residual libre encontradas fueron mayores a 0,6 mg/l, límite máximo que establece la Norma Nacional. Asimismo, se determinó que el filtro actual no es el adecuado para las características del afluente, por lo que se propone utilizar la estructura existente para la implementación de un Filtro Lento en Arena que funcione adecuadamente. Además, se evaluó la oferta y demanda de agua potable, y se determinaron dotaciones que varían desde los 188 L/(p\*d) hasta sectores con 856,18 L/(p\*d), se estima que la oferta de agua actual, no es suficiente para abastecer el caudal máximo diario requerido para la demanda de la población del año 2045.

**Palabras clave:** Agua potable, saneamiento, sistema de cloración, Filtro Lento de Arena, oferta y demanda de agua.

## **ABSTRACT**

Usually in rural areas, the ASADAs are the organizations in charge of the drinking water supply service. However, despite having a 32% supply coverage, there are Associations with some deficiencies in the management they carry out. In addition to this, rural areas have an inequality in access to sanitation with respect to the urban area of country (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019). In this project it was proposed to evaluate the infrastructure of the components of the Paquera's ASADA and the management that is being executed, using diagnostic tools such as the SERSA files of the Ministry of Health, as well as the Unified Form of the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewerage, in addition to identifying risks in the sanitation system of the communities through a survey. It was determined that chlorination systems and surface source uptake have the highest risks. The concentrations of free residual chlorine found in the network were greater than 0,6 mg/l, the maximum limit established by the National Standard. It was also determined that the current filter is not suitable for the characteristics of the tributary, so it is proposed to use the existing structure for the construction of a Slow Sand Filter. In addition, the supply and demand of drinking water was evaluated, and allocations were determined that vary from 188 L/(p\*d) to sectors with 856,18 L/(p\*d), it is estimated that the current water supply is not sufficient to supply the maximum daily flow required for the population demand of the year 2045.

**Key words:** Drinking water, sanitation, chlorination system, Slow Sand Filter, water supply and demand..

## 1 INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua en los países latinoamericanos es alta, éstos poseen el 33% de los recursos hídricos renovables en el mundo. Sin embargo la falta de gestión, protección, conservación e inversión en infraestructura ha generado sequías o constantes racionamientos, contaminación de las fuentes de agua, por lo que el abastecimiento al total de la población se ve limitado (ICAA, 2016).

Costa Rica es uno de los países de la región que brinda acceso al agua a más del 90% de la población, además es de los países con una disponibilidad superior a los 20 mil metros cúbicos por persona al año (ICAA, 2016). A finales del 2018 Costa Rica tenía un total de 5 003 402 habitantes y mediante 2 145 acueductos, abasteció de agua potable al 92,4% de la población, sin embargo, el 7,6% fue abastecida por 557 acueductos que brindaron agua de calidad no potable (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019).

En zonas rurales, las ASADAs son los operadores con mayor cobertura del servicio. Según Mora- Alvarado y Portuguez-Barquero (2019) en la provincia de Puntarenas el 28,2% de los pobladores de origen rural no recibieron agua de calidad potable. Por lo que se ve la necesidad de evaluar los sistemas comunales de suministro con el fin de mejorar su gestión.

La ASADA Paquera, es el acueducto con el mayor número de abonados, en la península de Nicoya, esta Asociación ha incorporado diferentes sistemas de abastecimiento a lo largo de los años y se encuentra habilitando nuevas fuentes superficiales y subterráneas; debido a su tamaño, el acueducto posee muchos componentes y también tiene la característica que abastece a gran parte de la población de todo el distrito de Paquera. En esta evaluación se realizó un diagnóstico de los componentes del acueducto: captación, tanques de almacenamiento, sistemas de cloración, líneas de conducción y distribución y además las distintas gestiones que se realizan, para identificar riesgos que pueda haber. También se realizó un análisis de demanda de cloro para determinar la dosis adecuada de hipoclorito de sodio para potabilizar el agua, también se evaluó la oferta de agua, la demanda actual y futura de la población, con el fin de determinar la justificación de las nuevas fuentes de

abastecimiento, al mismo tiempo se buscó evaluar las características del agua del Río Guarial para determinar si la estructura y diseño del filtro actual, cumple con lo requerido.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer mejoras para el sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento administrado por la ASADA Paquera en la Provincia de Puntarenas, Costa Rica.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar los componentes hidráulicos y la gestión técnica de la ASADA, mediante la aplicación de las Guías de Inspección SERSA del Ministerio de Salud y del Formulario Unificado de Información sobre Organizaciones Comunales Prestadoras de Servicio de Agua Potable y Saneamiento (FU) del ICAA.

Identificar los principales riesgos en el sistema de saneamiento en la comunidad.

Proponer las principales opciones de mejoras para fortalecer la gestión de la ASADA.



### **3 REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1 ASPECTOS GENERALES**

De acuerdo con Bower (2014) el agua es necesaria para la vida humana y el desarrollo de las comunidades, además, el suministro de agua no solo depende de la cantidad de agua geológicamente disponible, si no del ámbito económico, legal y social subyacente al sistema de distribución diseñado.

Según Marcó (2010) para que la calidad de este líquido sea la óptima y apta para consumo humano, debe tener la fórmula de las “cinco c”, las cuales se mencionan a continuación:

- **Calidad**

Además de tomar en cuenta las rutinas y análisis de laboratorio (refleja las condiciones de calidad en un determinado lugar y momento), se debe evaluar la situación de la infraestructura, utilizando protocolos de diagnósticos que incluyan procesos completos (protección de la fuente, captación, potabilización, almacenamiento, redes de distribución y vigilancia epidemiológica).

- **Cantidad**

Las principales pérdidas de agua potabilizada ocurren en la red de distribución. Gran cantidad de pérdidas y fugas, llegan a desperdiciar hasta la mitad del total producido.

- **Continuidad**

Se refiere a la persistencia del caudal suficiente de agua en la red en un determinado tiempo, la falla de éste, puede provocar succión de partículas, por consiguiente, una contaminación en la red, además de molestia entre los usuarios por la intermitencia en el servicio.

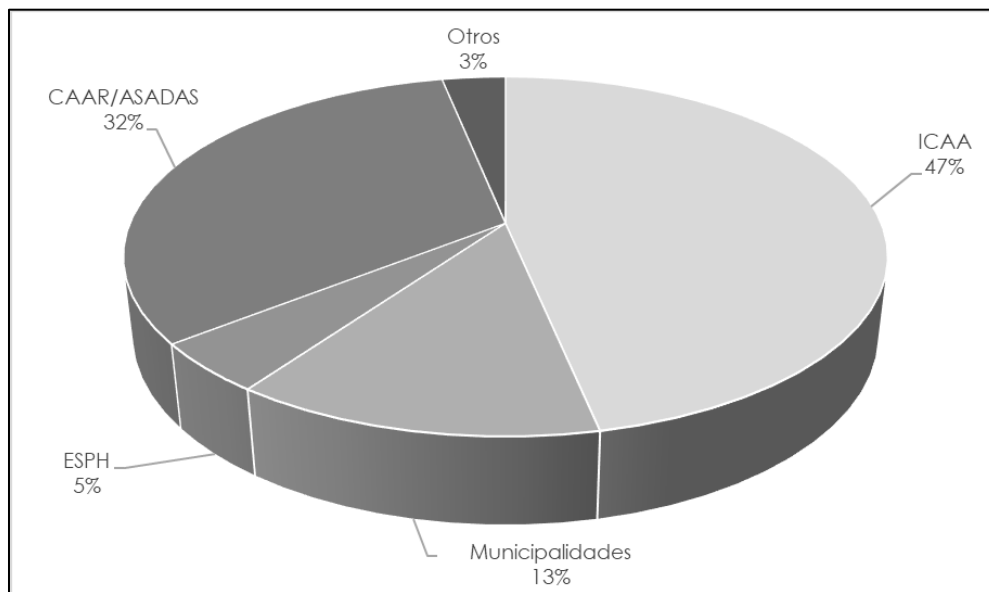
- **Cobertura**

La sociedad que busca el desarrollo sustentable y la disminución de la inequidad social, debe priorizar la cobertura del servicio al 100% de sus habitantes.

- Costo

El costo, debe calcularse en función de los precios actualizados de los insumos, las reparaciones menores y algo decisivo, el personal implicado debe estar debidamente jerarquizado y actualizado en su capacitación y en su remuneración.

En Costa Rica, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA), es el ente rector en cuanto a materia técnica en abastecimiento de agua potable y saneamiento (ICAA, 2016), además es el que tiene mayor cobertura de suministro de agua potable en el país, como lo muestra la Figura 3.1, pero además existen otros entes operadores como: las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAs), los Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAAR), las Municipalidades, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), y algunas organizaciones privadas que se encargan de satisfacer la demanda de agua en el país (Herrera-Murillo, 2017).



**Figura 3.1. Porcentaje de cobertura de agua según operador 2018. Adaptado de (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019)**

### 3.2 ASADAS

Las organizaciones comunitarias de agua potable, (CBDWO) por sus siglas en inglés, en Costa Rica están conformadas por dos tipos: Comités de Acueductos y Alcantarillados

Rurales, (CAAR) y Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAs), cuya principal diferencia es el marco formal de mayor responsabilidad ante el gobierno central. El ICAA ha promovido en los últimos años, la transformación de CAAR en ASADAs con el fin de fortalecer su estatus legal y su responsabilidad formal ante el gobierno (R. Madrigal, Alpízar, & Schlüter, 2011). Existe una relación jurídica entre el ICAA y las ASADAs, estas últimas son gestoras del servicio de agua potable y alcantarillado sanitario, además son sujetos independientes que tienen ante el ente rector un grado de autonomía en asuntos de organización; también administran, operan y prestan dicho servicio; sin embargo, tienen una clara diferencia entre las funciones del ICAA como órgano de máxima autoridad, ya que éste es el que planifica, dirige, coordina y controla la actividad pública que es gestionada por las ASADAs (Guevara, 2009)

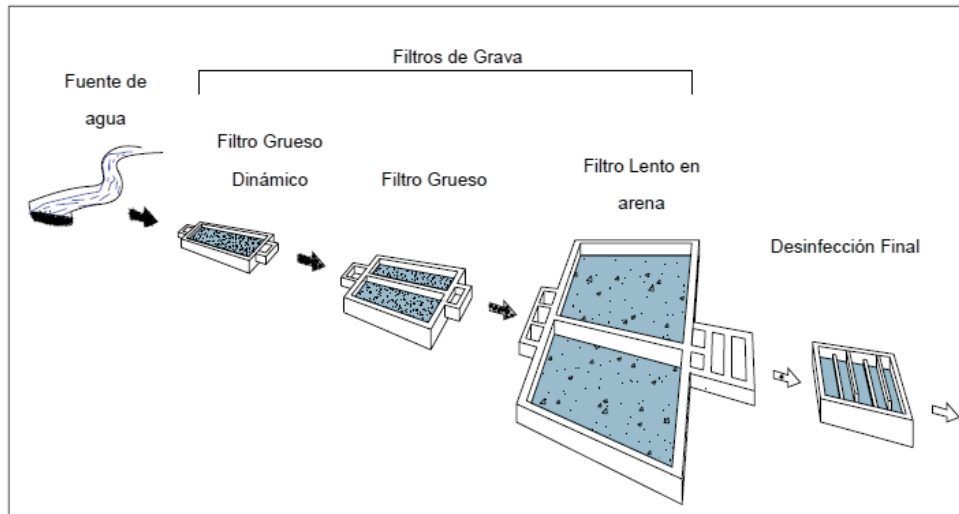
### 3.3 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Una planta potabilizadora es un *“conjunto de infraestructuras, equipamiento y demás elementos necesarios para ejecutar los procesos de potabilización del agua proveniente de una o varias fuentes de abastecimiento; incluye todo proceso de pretratamiento, tratamiento y postratamiento, así como tratamientos especiales o no convencionales requeridos para suministrar agua para abastecimiento poblacional. También, comprende la correcta disposición de los desechos que se generen de cada unidad de tratamiento, cumpliendo con la legislación nacional y normativa técnica aplicable”* (ICAA, 2017).

Una manera de potabilizar el agua es mediante la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), la cual combina la Filtración Gruesa Dinámica (FGDi), la Filtración Gruesa (FG) y la Filtración Lenta en Arena (FLA); esta es 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 comunidades rurales (Sánchez, Sánchez, Galvis, & Latorre, 2006).

La Figura 3.2, muestra el esquema de una planta de tratamiento con tres componentes, Filtro Grueso Dinámico (FGDi), Filtración Gruesa (FG) y Filtro Lento en Arena (FLA), además se muestra el proceso de desinfección. La FiME puede estar compuesta por dos o tres etapas de

filtración, ya sea: FGD<sub>i</sub> + FLA, FGD<sub>i</sub> + Filtración Gruesa Ascendente en Capas (FGAC) + FLA o FGD<sub>i</sub> + Filtración Gruesa Ascendente en Series (FGAS) + FLA, la selección va a depender de las características del agua, la eficiencia de las etapas de tratamiento y consideraciones de costos (OPS & CEPIS, 2005).



**Figura 3.2. Esquema general de una planta de tratamiento de agua por Filtración en Múltiples Etapas. Tomado de (Sánchez et al., 2006)**

A continuación, se describirá cada uno de los componentes de la tecnología FiME:

- Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

El FGD<sub>i</sub> funciona como protección, ya que evita las cargas excesivas de sólidos suspendidos y picos de turbiedad. Reporta reducciones de 23 a 77% en sólidos suspendidos. Este filtro contribuye en gran medida al mejoramiento de la calidad del agua (Sánchez et al., 2006). Estructuralmente son tanques que contienen en la superficie una capa de grava fina (6 a 13 mm), en la capa inferior se encuentra un lecho de grava más grueso (13-25 mm) y en el fondo se encuentra el sistema de drenaje (OPS & CEPIS, 2005).

- Filtración Gruesa (FG)

Estos filtros pueden ser de flujo horizontal o vertical. El lecho filtrante es grava y el tamaño de los granos disminuye con la dirección del flujo (OPS & CEPIS, 2005). Para el caso del Filtro Grueso Ascendente (FGA) el agua pasa a través del lecho de abajo hacia arriba,

teniendo de ventaja que las partículas más grandes son removidas en el fondo del filtro (Sánchez et al., 2006).

- Filtración Lenta en Arena (FLA)

El tratamiento del agua en esta unidad es producido por mecanismos de naturaleza biológica y física, ambas interactúan para mejorar la calidad microbiológica del agua. El lecho del tanque es arena fina, ésta es colocada sobre una capa de grava que funciona como soporte del lecho filtrante y que se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada (OPS & CEPIS, 2005). Una unidad está compuesta por un lecho filtrante, una capa de agua sobrenadante y un sistema de drenaje y de control de flujo. La materia orgánica e inorgánica junto con el flujo de agua sin tratar o pre-tratada ingresa a la unidad de FLA y pasa a través del medio filtrante por medio de gravedad, debido a la presión que ejerce el agua sobrenadante que se encuentra en la parte superior del filtro (Sánchez et al., 2006).

La selección de las unidades por utilizar varía según las unidades de Turbiedad, color real y coliformes fecales y puede llegar a tratar valores de hasta 70 UNT, 40 UC y 20000 UFC/100 ml, la Figura 3.3, muestra la unidad por seleccionar según los valores de esos tres parámetros.

	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)					
< 500	Sin FGA	FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAS <sub>3.0,3</sub>	
500 - 10000	FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAS <sub>3.0,3</sub>	
10000 - 20000 (*)	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAS <sub>3.0,3</sub>	

(\*) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.  
(El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h)

Figura 3.3. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas. Tomado de (OPS & CEPIS, 2005).

La desinfección es uno de los últimos procesos por los que se somete el agua para su correcta potabilización. En esta operación se da la destrucción de microorganismos patógenos, utilizando comúnmente reactivos químicos como el cloro, ya que crea una barrera efectiva para muchos patógenos (especialmente bacterias) (WHO, 2011). Dentro de los beneficios que tiene la desinfección con cloro es que tiene un poder residual, este margen de seguridad previene la contaminación en los sistemas de distribución y reservorios y además completa la oxidación de compuestos que tienen un tiempo de inactivación prolongado (Aguilar, 2015).

Cada agua tiene sus propias características, por esta razón la dosis requerida de desinfectante es única para cada tipo de agua. La dosis por agregar debe ser suficiente para cubrir la demanda de cloro y además dejar el margen de seguridad antes mencionado. Esta demanda de cloro, la cual se define como la diferencia entre la dosis de cloro aplicada al agua y la cantidad de cloro libre y/o combinado resultante, luego de un determinado tiempo de contacto (López, 2001), se puede conocer mediante técnicas de laboratorio y con los resultados obtenidos construir una curva de demanda de cloro.

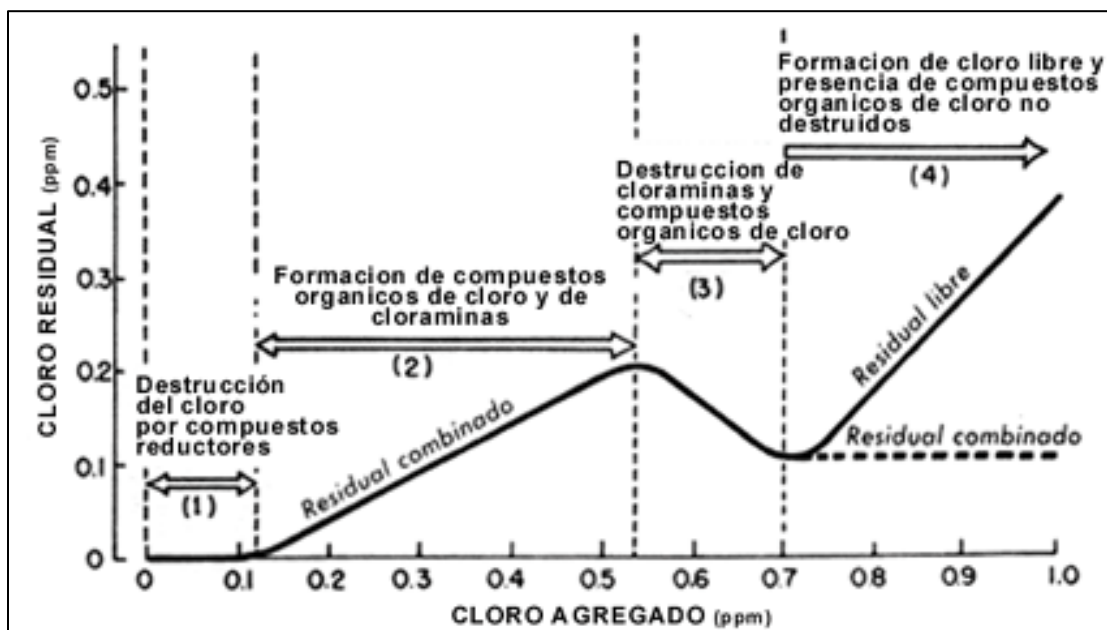


Figura 3.4. Curva de demanda de cloro típica. Tomado de (Baltonado, 2017)

En la Figura 3.4, se puede observar el comportamiento típico de las reacciones que tiene el cloro con las especies que se encuentran en el agua. La sección (1) de la curva, corresponde

a la reacción del cloro con compuestos reductores, como el hierro, los nitritos y el ácido sulfhídrico; en el punto (2) se da la reacción con el amonio, formando compuestos orgánicos clorados y cloraminas como cloro residual combinado. Posteriormente se da una oxidación de los compuestos formados y se produce un punto de quiebre. A continuación en el punto (4) se da un aumento del cloro libre; éste se encuentra disponible para reaccionar con microorganismos patógenos y otras impurezas que se puedan presentar en el agua, asegurando de esta forma el suministro de agua hasta el momento del consumo (Baltonado, 2017).

En la mayoría de los casos la desinfección ocurre en los tanques de almacenamiento, estas estructuras 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 (ICAA, 2017).

### 3.4 EVALUACIÓN DE ASADAS

Existe un instrumento de control y evaluación creado por ICAA conocido como Formulario Unificado de Información sobre Organizaciones Comunales Prestadores de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (FU) (ICAA, 2018), este tiene como fin, obtener un diagnóstico que categoriza a las ASADAs mediante una ponderación, de muchas variables, permitiendo un estándar nacional que genera un perfil institucional individualizado para cada ASADA (ICAA, CRUSA, & PNUD, 2017). Al mismo tiempo, las Guías de Inspección del Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA) es otra herramienta utilizada por parte del Ministerio de Salud, ésta evalúa el riesgo a través de la revisión del estado de los componentes del acueducto, tales como: captaciones, conducciones, quiebragrados, tanques de almacenamiento, potabilización y desinfección, redes de distribución y el entorno inmediato a las captaciones, para identificar los riesgos que puedan afectar su calidad (Poder Ejecutivo, 2015b). Una vez identificado el riesgo entre nulo, bajo, intermedio, alto o muy alto, se determina si requiere o no de una medida correctiva, además, el tiempo para cumplirla.

### **3.4.1 Antecedentes**

Los investigadores del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Soto-Córdoba, Gaviria-Montoya, & Pino-Gómez (2016), realizaron un estudio que consistió en ofrecer una visión de la gestión del recurso hídrico y las condiciones de saneamiento en 21 ASADAs de la provincia de Cartago. Este estudio obtuvo resultados que ASADAs consideradas pequeñas (menos de 56 abonados) poseen más problemas de operación, mantenimiento y escasez en sistemas de desinfección (71% no realizan esta operación) que las ASADAs grandes con más de 217 abonados.

Además, se determinaron riesgos asociados a las zonas de captación. Por ejemplo, la construcción del sistema es realizada de forma artesanal, no se cuentan con la protección debida para evitar el acceso de personas y animales; también se identificaron que los terrenos aledaños están dedicados a actividades agrícolas, ganaderas, de construcción, entre otros. Asimismo, se determinó que la mayoría de acueductos no cuentan con planos actualizados del acueducto, no se llevan registros escritos, sino que la información la manejan los fontaneros y administradores del acueducto. En cuanto al personal, estos cuentan con poca capacitación técnica, por lo que los sistemas de cloración no funcionan adecuadamente (Soto-Córdoba et al., 2016).

Otro estudio se realizó en la ASADA de León Cortés por Garro-Ureña (2017), consistió en una evaluación y un diseño de un plan de mejoras para las nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución del acueducto. La evaluación utilizando la ficha SERSA, brindó como resultado una clasificación de riesgo bajo para la naciente Guildo Mena y un riesgo intermedio para las restantes 3 nacientes, en donde el factor de riesgo común fue la carencia de malla de protección y de canales perimetrales para evitar socavación y carencia de respiraderos. Para el caso de los tanques de almacenamiento se reportaron 6 tanques con riesgo bajo, 2 con riesgo intermedio y 1 con un riesgo alto, en las cuales se encontraron factores de riesgo como: presencia de sedimentos dentro del tanque, carencia de respiraderos, carencia de malla de protección, contaminación alrededor entre otros. También se identificó que el parámetro con mayor incumplimiento del Reglamento de Calidad de Agua Potable es el cloro residual libre. Además, se realizaron encuestas a abonados, dentro de los resultados



se encuentra que de los 125 encuestados, el 79% afirmó haber notado sabor y olor extraño en el agua, además un 6% asegura haber tenido problemas de faltante de agua y un 15% afirmó que han identificado turbiedad en el agua y que este problema se presenta principalmente en época de invierno, también se identificó que hay un 2% de la población que no cuentan con micro medición.

De los estudios realizados, se puede observar que las ASADAs tanto del área de Cartago como la de León Cortés coinciden en ciertos aspectos, como por ejemplo la falta de protección perimetral tanto en nacientes como en tanques de almacenamiento, que se cuenta con poca capacitación técnica; en ambos casos se presentan debilidades en los sistemas de cloración, por lo que se da un incumplimiento del Reglamento de Calidad de Agua Potable, además poseen debilidades en cuanto a la operación, financiamiento y mantenimiento de los acueductos por diversas causas, entre ellas la falta de capacitación, apoyo técnico y de fortalecimiento de la organizaciones en el tema administrativo y de gestión en general.

### 3.5 LEGISLACIÓN

En Costa Rica la fiscalización del recurso hídrico y la regulación del servicio de agua potable se lleva a cabo por diferentes instituciones: el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE), el Ministerio de Salud (MS), el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA), el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) y la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) (Herrera-Murillo, 2017). Por lo tanto, las ASADAs se deben regir conforme la legislación costarricense, con el fin de administrar el recurso hídrico con la mayor transparencia y eficiencia. Por consiguiente, se mencionan a continuación algunos de los reglamentos aplicados:

- Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales Decreto Ejecutivo N°33903 (Poder Ejecutivo, 2007).

- Reglamento para la implementación y Desarrollo del Programa de Mejoramiento y Sostenibilidad de la calidad de los servicios de Agua Potable Periodo 2007-2015 (PNMSCSAP) N° 33953-S MINAE.
- Criterios de Calidad de Aguas para Pozos y Nacientes Decreto Ejecutivo N° 26066-S.
- Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto Ejecutivo N°38924-S (Poder Ejecutivo, 2015b)
- Reforma Reglamento de Calidad de Agua Decreto Ejecutivo N° 39144-S (Poder Ejecutivo, 2015a)
- Reforma Reglamento de Calidad de Agua Decreto Ejecutivo N° 41499-S (Poder Ejecutivo, 2019)
- Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales Decreto Ejecutivo N°32529-S-MINAE (2005) (Poder Ejecutivo, 2005)

### 3.6 RIESGOS DE SANEAMIENTO

Para ofrecer o brindar un suministro sostenible de agua potable es necesario contar con servicios de saneamiento adecuados (Bower, 2014) sin embargo, la dificultad al acceso del agua y saneamiento mejorado provoca mayores tasas de morbilidad y mortalidad, así como un círculo vicioso de pobreza, en el que la inaccesibilidad de los servicios básicos limita el crecimiento económico y a su vez la inversión en servicios básicos de saneamiento (Bouabid & Louis, 2015).

#### 3.6.1 Instalaciones de Saneamiento

Las instalaciones de saneamiento mejoradas son aquellos que separan higiénicamente las excretas del contacto humano. Hay tecnologías de saneamiento húmedo (letrinas con sifón o de pozo, fosas sépticas) y tecnologías de saneamiento seco (letrinas mejoradas de pozo, letrinas de compostaje). Programme Joint Monitoring (JPM) divide estas instalaciones en tres categorías: servicios limitados, básicos y gestionados de manera segura. Estas instalaciones pueden conectarse a las redes de alcantarillado (las cuales dominan en zonas

urbanas), o a las instalaciones de almacenamiento y tratamiento in situ, éstas últimas instalaciones son utilizadas mayoritariamente por la población rural (WHO, UNICEF, & Programme Joint Monitoring, 2017). En Costa Rica el Laboratorio Nacional de Aguas ha adaptado estos conceptos, los cuales se describen en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Niveles de la Escalera de Saneamiento Gestionado en Forma Segura**

<b>Nivel de servicio</b>	<b>Definición</b>
Servicio de saneamiento gestionado de forma segura	Instalaciones privadas mejoradas donde los desechos fecales se depositan en un sitio de manera segura o se transportan y se tratan fuera del lugar, además de un lavado de manos con agua y jabón.
Servicio básico	Instalaciones privadas mejoradas que separan el excremento del contacto humano.
Servicio limitado	Instalaciones mejoradas compartidas con otros hogares.
Servicio no mejorado	Instalaciones no mejoradas que no separan las excretas del contacto humano.
Sin servicio	Defecación al aire libre.

Fuente: (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019)

Para el año 2018 el 75,4% de los hogares utilizaron tanques sépticos para la disposición de las excretas, mientras que el 22,9% utilizaron alcantarillado sanitario y/o cloacas para trasladar las excretas, de estos únicamente el 14% recibe un correcto tratamiento. Por otra parte, un 1,4% utilizaron letrinas o escusado de hueco, mientras que el 0,3% evacúa las excretas a cielo abierto (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019).

Costa Rica presenta dos escenarios para el caso de Sistema de Tratamiento Gestionado de Forma Segura, mostrado en la clasificación del Cuadro 3.1. Estos varían si se toma o no en consideración que el tanque séptico es un “Sistema de Tratamiento Gestionado de Forma Segura”. Dicho esto, y según el punto anterior, para el escenario uno se tendría que el porcentaje de cobertura total es de 89,4%, ya que se toma en cuenta el 75,4% de la población cubierta con tanque séptico y el 14% que utiliza alcantarillado sanitario con tratamiento. Mientras que para el escenario dos, el cual no toma en cuenta el tanque séptico, apenas se tendría un 14% de cobertura con “Sistema de Tratamiento Gestionado de Forma Segura” (Mora-Alvarado & Portuguez-Barquero, 2019).

### **3.6.2 Disposición de aguas residuales**

El agua potable, el saneamiento y la higiene (WASH) por sus siglas en inglés, se ven afectados por diversos factores como la extracción insostenible de agua, para satisfacer las necesidades de la población, el crecimiento poblacional, así como la migración de personas, pero además se ve afectada por la contaminación debido a la mala administración de las excretas. El grado de contaminación a las fuentes de aguas subterráneas y aguas superficiales como ríos, lagos y finalmente los océanos depende de la gestión de las aguas residuales, de los factores climáticos, tamaño y densidad de la población, sin embargo en cuencas geográficas, con densidades de población altas, las aguas residuales, depositadas en cuerpos receptores, contribuyen en gran medida a la demanda biológica total de oxígeno, por lo que estas aguas superficiales contaminadas tienen repercusiones graves (Hutton & Chase, 2016).

El sistema predominante de tratamiento de aguas residuales en el país es la utilización de tanques sépticos - campos de infiltración, sin embargo, el funcionamiento de este sistema se ve afectado por factores como tipo de suelo, clima, características del efluente, volumen de agua entre otros. Los suelos de Costa Rica son variados y posee zonas en donde el suelo tiene alta permeabilidad, por lo que presenta tasas de infiltración más altas, lo que provoca focos de contaminación de acuíferos (Herrera-Murillo, 2017).

También, ciertas técnicas en el uso de la tierra pueden causar problemas en la gestión de la calidad del agua y del suelo, la utilización de agroquímicos en la producción agrícola puede provocar acumulaciones de residuos de fertilizantes ricos en nitritos, nitratos y fosfatos, los cuales consiguen llegar a las aguas superficiales y subterráneas, en muchos casos, usadas para consumo humano. Además, metales pesados y/u orgánicos de las aguas residuales pueden adsorberse o lixiviarse, agravando el problema. Por otra parte, la adición de sustancias potenciales de contaminación, en la labranza bajo cubierta forestal, en algunos casos provoca el aumento en la mineralización de humus, que conduce a la formación de nitratos y nitritos y la desorción de metales pesados con posterior lixiviación al agua subterránea (Keesstra et al., 2012).

### 3.7 CAMBIO CLIMÁTICO

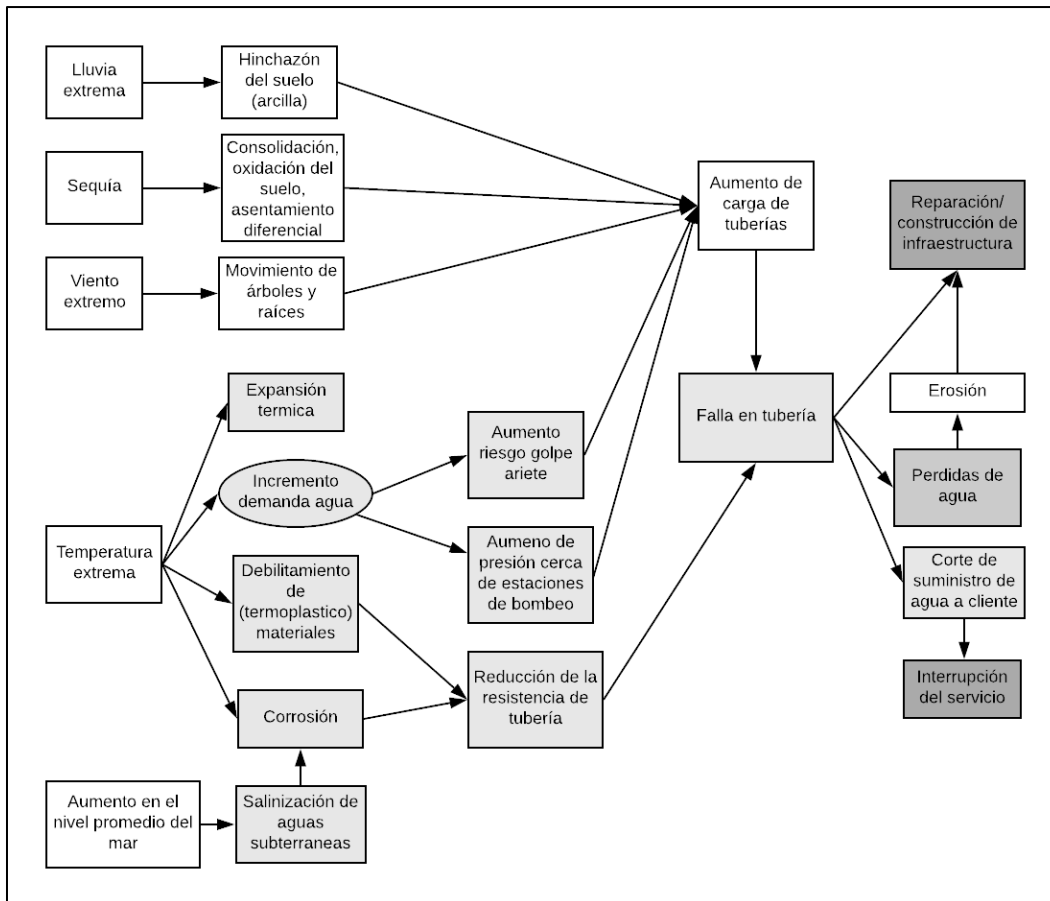
Los fenómenos meteorológicos afectan directamente el abastecimiento de agua y saneamiento, ya que la escasez de agua puede limitar el acceso al saneamiento, reducir la capacidad de auto limpieza de los desagües, así como limitar la capacidad natural de los ecosistemas de asimilar los residuos generados (UNECE, 2009).

Además, los efectos del cambio climático y el crecimiento socioeconómico indican que para el 2050, 5 mil millones de personas podrían estar en riesgo de exponerse a un estrés hídrico moderado, casi el doble de la estimación actual (aproximadamente 1.7 mil millones) (Hutton & Chase, 2016). Es importante mencionar que, si bien es cierto el agua no se agota a pesar de la potente depuración del ciclo evaporación-precipitación, la distribución del agua cambia, además, la calidad de ciertos cuerpos receptores podrían verse impactados por efluentes químicos persistentes (Marcó, 2010).

Sumado a esto, se espera que, dentro de las consecuencias debido al aumento en las temperaturas, se exacerbe la carga en las enfermedades diarreicas. La OMS estima que habrá 48 000 muertes adicionales en niños mayores de 15 años causadas por el cambio climático, esta cifra puede ser conservadora, ya que no contempla las muertes por otros factores de riesgo como la disminución de la disponibilidad de agua (WHO et al., 2017).

Además de la desertificación e inundaciones en ciertos lugares causadas por cambios climáticos y de suelo, el deterioro de la cantidad y calidad de agua por contaminación y uso abusivo de las fuentes subterráneas (Marcó, 2010), se presenta otra problemática, la cual según Bollinger et al. (2014) indirectamente por el cambio climático (al alterar las propiedades del suelo y el movimiento de este) la funcionalidad de la estructura de un acueducto se ve afectado, ya que las condiciones climáticas extremas debido al cambio climático pueden afectar el deterioro de tuberías, ya que sequías y altas temperaturas generan roturas, debido a los cambios que sufre el suelo al researse y encogerse. Además, el aumento de la temperatura también podría aumentar la demanda del líquido, lo que requeriría mayores presiones y velocidades de flujo, poniendo en riesgo las tuberías por daños asociados o por riesgos de golpe de ariete, también al aumentar la temperatura del agua, la calidad se vería afectada negativamente, la Figura 3.5, muestra como los eventos climáticos pueden afectar al sistema de distribución.

Costa Rica no está fuera de los efectos del cambio climático y la poca técnica y tecnologías aplicadas en las ASADAs hace que el suministro de agua potable en zonas rurales esté en riesgo.



**Figura 3.5. Impactos anticipados del cambio climático en las infraestructuras de conducción de agua potable.**  
Tomado de (Bollinger et al., 2014)

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

En Costa Rica hay diferentes metodologías para diagnosticar el estado de los sistemas de agua potable, así como los de saneamiento. A continuación, se describen dichas metodologías con el fin de identificar las condiciones en las que se encuentran los componentes del acueducto, además de las diferentes gestiones que se realizan, así como la ubicación del estudio.

### 4.1 LUGAR DE ESTUDIO

La Asociación Administradora del Acueducto Rural de Paquera Centro de Puntarenas, se ubica en la provincia de Puntarenas, cantón central y distrito Paquera, como se muestra en la Figura 4.1. Este acueducto abastece a 12 barrios o sectores, entre los que se encuentran Paquera Centro, Laberinto, Órganos, Gran Paquera, Pueblo Nuevo, Salinas, San Josecito, Cuchillo, Pradera 1, Pradera 2, Puerto Paquera y 2 Islas, Isla Cedros e Isla Chiquita; en total, abastece a 1123 abonados, de los cuales 1043 son activos, aproximadamente 3655 habitantes (R., Arias comunicación personal, 9 de enero, 2019).

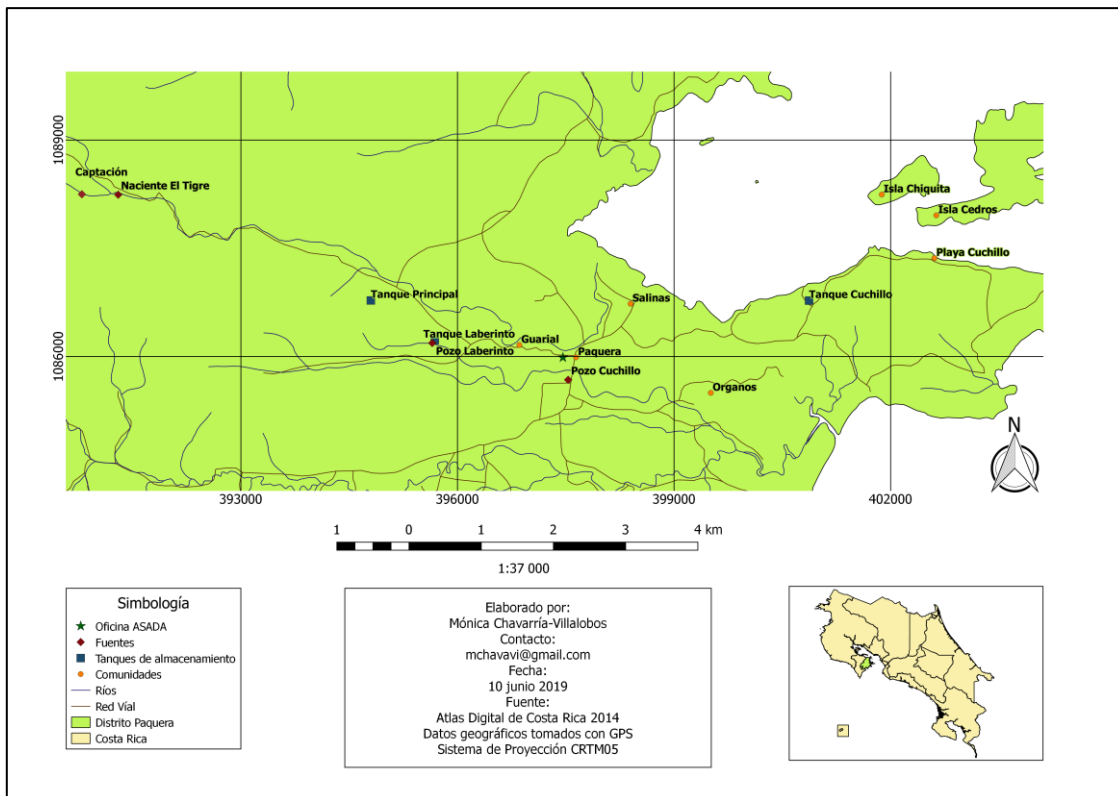


Figura 4.1. Ubicación del distrito Paquera y del lugar de estudio.

## 4.2 HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO

### 4.2.1 Guías de Inspección SERSA: Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud

Se coordinó con el administrador del acueducto para realizar visitas de campo a cada componente de los tres sistemas del acueducto, por lo tanto, se visitaron dos pozos, una naciente, una captación de agua superficial, tres tanques de almacenamiento, líneas de conducción y distribución, así como tres sistemas de desinfección.

Se realizó la aplicación de la guía SERSA en dos momentos diferentes, la primera se aplicó durante el 13 y 14 de agosto del 2018 en todos los componentes y la segunda el 10 de diciembre del 2018 en donde se aplicó únicamente en la naciente y la línea de conducción hacia Tanque Guarial.

Durante cada inspección se realizó toma de fotografías, así como geo-referenciación de cada componente. Se completó cada una de las 10 preguntas que vienen en cada ficha de la Guía. Una vez evaluado el componente se realizó la sumatoria de las respuestas con “sí” y de esta forma se determinó la clasificación de riesgo. El Cuadro 4.1, describe la clasificación de riesgo por componente según la ponderación obtenida en la evaluación.

**Cuadro 4.1. Clasificación del riesgo según Guía de inspección SERSA. Adaptado de (Poder Ejecutivo, 2015b)**

Número de Respuestas “Sí”	Clasificación de Riesgo	Código de colores
0	Riesgo Nulo	
1 - 2	Riesgo Bajo	
3 - 4	Riesgo Intermedio	
5 - 7	Riesgo Alto	
8 - 10	Riesgo Muy Alto	

La información recopilada se pasó a un documento de Microsoft Word y se analizó cada uno de los componentes evaluados en las visitas de campo.



#### 4.2.2 Formulario Unificado del ICAA

Como se explicó en la sección: Evaluación de ASADAs, el Formulario Unificado (FU) se utiliza para categorizar las Organizaciones Comunales. Se coordinaron varias sesiones de trabajo con el administrador de la ASADA para completar el FU. Con la información recopilada en las reuniones con el administrador, así como en las visitas de campo se completó el formulario. Cada respuesta, de las 229 variables, se introdujo en uno de los 6 apartados en los que está dividido el formulario, los cuales son:

- Identificación del Prestador del Servicio
- Gestión administrativa Financiera
- Gestión Comercial
- Gestión Comunal
- Gestión del Recurso Hídrico
- Gestión de los Sistemas de Aguas.

De manera automática la hoja de Excel llena dos apartados adicionales que son: ponderación y categorización. A pesar que se recolectaron 229 variables, el ICAA sólo toma en cuenta 43, en el Cuadro 4.2 se observa la distribución por eje temático del peso y el número de variables.

**Cuadro 4.2. Distribución por eje temático del peso y número de variable**

ID	Eje temático del FU	Peso %	Variables evaluadas
1	Gestión administrativa financiera	25	13
2	Gestión comercial	15	10
3	Gestión comunal	15	5
4	Gestión del recurso hídrico	15	5
5	Gestión de los sistemas de agua	30	10
	Total	100%	43

Fuente: (ICAA, 2018)

Una vez obtenida la ponderación de la hoja de excel se consigue clasificar la ASADA dentro de un ámbito y determinar en qué categoría se encuentra según la categorización de las ASADAs que se muestra en el Cuadro 4.3.

**Cuadro 4.3. Categorización de la ASADAs**

Tipo	Categoría	Calificación	Color	Descripción de la categoría
A	Consolidada	Igual o mayor a un 80.	Verde	Cuenta con una organización y un funcionamiento adecuado que les permite prestar un servicio dentro de altos estándares de calidad.
B	En desarrollo alta	Menor a 80 y mayor a 60.	Anaranjado	Cuenta con un funcionamiento regular en alguno o varios de sus componentes de funcionamiento pero que requiere mejoras para alcanzar estándares de calidad deseables.
C	En desarrollo bajo	Menor a 59 y mayor a 40.	Amarillo	Cuenta con un funcionamiento inadecuado en alguno o varios de sus componentes de funcionamiento, pero no ha iniciado un proceso de mejoras para alcanzar estándares de calidad deseables.
D	Débil	Menor o igual a 39.	Rojo	No funciona adecuadamente y es muy vulnerable al entorno, afectando la calidad del servicio dentro de los estándares de calidad deseables, por lo que requiere mejoras sustantivas y apoyo de terceros para mejorar.

Fuente: (ICAA, 2018)

#### 4.3 DIAGNÓSTICO AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO COMUNIDAD

Para realizar el diagnóstico de la comunidad en cuanto a agua potable y saneamiento se utilizó una encuesta, previamente validada y creada bajo el criterio de expertos y aplicada en la provincia de Cartago (Soto-Córdoba, Gaviria-Montoya, & Pino-Gómez, 2018).

La ASADA Paquera atiende a 1043 abonados activos, distribuidos en 12 sectores, eso equivale aproximadamente a 3655 habitantes, la distribución por comunidades se presenta en el Cuadro 4.4.

**Cuadro 4.4. Abonados activos abastecidos por la ASADA Paquera.**

<b>Comunidad</b>	<b>Abonados activos</b>
Isla Cedros	28
Laberinto	96
Barrio Órganos	37
Paquera	80
Pueblo Nuevo	84
Salinas	98
San Josecito	54
Cuchillo	30
Paquera Centro	354
Pradera 1	72
Pradera 2	96
Puerto Paquera	14
Total	1043

Fuente (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018)

Una vez determinada la población, se procedió a obtener la cantidad de abonados a encuestar. Según Malterud, Siersma, & Guassora (2016), la expresión 4.1 se utiliza para determinar la muestra aleatoria simple

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N-1) + Z^2 \sigma^2} \quad (\text{ec 4.1})$$

Donde,

Z k respectiva a un nivel de confianza de 95%

$\sigma$  Desviación estándar

e Error muestral

N Población

Por lo tanto, al aplicar la ecuación 4.1 se obtiene que la muestra es de 281 a un nivel de confianza del 95%.

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,5^2 \times 1043}{0,05^2 (1043-1) + 1,96^2 \times 0,5^2} = 281$$

La encuesta está compuesta de preguntas de respuesta única, múltiple y abierta, y se dividió en cinco secciones:

- 1) Información general sobre la persona, comunidad en la que vive, número de miembros por hogar.
- 2) Agua potable: medidas de ahorro de agua en el hogar, aspectos sobre cantidad, continuidad y calidad.
- 3) Manejo aguas residuales: sistema de tratamiento del agua residual de inodoros, aguas grises, estado y ubicación del sistema.
- 4) Gestión de residuos sólidos: separación y clasificación de los residuos sólidos ordinarios y la identificación de los gestores de residuos sólidos ordinarios.
- 5) Compromiso comunal ambiental y salud: participación en asociaciones comunales, percepción del trabajo realizado por la ASADA y aspectos de salud.

La encuesta fue aplicada del 8 al 14 de abril del 2019, en los que se utilizó una motocicleta como medio de transporte. Las rutas se distribuyeron por sectores, a lo largo de esos seis días. Como herramienta de recolección de datos se utilizó una tableta marca Huawei para realizar las encuestas por medio de Formulario de Google, por lo que la información se recopiló en línea, por medio de una hoja de cálculo de Google Drive. Para el análisis final de la información se descargó la base de datos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

#### 4.4 METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE CALIDAD AGUA

Se coordinó con el administrador del acueducto una fecha para la recolección de muestras. El muestreo se dividió en toma de muestras de agua potable en las líneas de distribución y muestreo de agua superficial del Río Guarial. Además, se organizó con personal de la Carrera Ingeniería Ambiental para hacer uso del laboratorio de análisis, así como el préstamo de equipo.

#### 4.4.1 Muestra de agua potable

La visita de campo realizada, consistió en tomas de muestras de agua potable en diferentes puntos de la red, dicha información se muestra en el Cuadro 4.5. Para la selección de los puntos de muestreo se tomaron en cuenta variables como: cercanía y lejanía desde el punto de cloración, por ejemplo, se tomó como muestra la primera casa, después del punto de cloración y, además, puntos más significativos como lo son las escuelas y el colegio, debido a la gran cantidad de estudiantes que son abastecidos de esa conexión. Las muestras fueron tomadas en los sistemas Paquera y Cuchillo ya que eran los que se encontraban en operación el 6 de mayo 2019.

**Cuadro 4.5. Puntos de muestreos en red de distribución para análisis de Nivel Primero (N1)**

Nombre del Sistema	Punto de Muestreo	Punto de referencia
Paquera	Red 1	Sr. Claudio Molina
	Red 2	Escuela Guarial
	Red 3	Escuela Julio Acosta García de Paquera
	Red 4	Colegio Técnico Profesional de Paquera
Cuchillo	Red 1	Sra. Cecilia Salas
	Red 2	Sr. Elí Trejos
	Red 3	Escuela Punta Cuchillo

Para la toma de muestras se siguió la Guía Técnica: Procedimiento para Toma de Muestras para Aguas Potables (Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos CEQIATEC, 2019a) el cual se describe a continuación:

1. Ingresar al sitio de muestreo.
2. Análisis *in-situ*: se enjuagó un beaker 3 veces y se tomó agua, se le analizó pH, temperatura, cloro residual libre y cloro residual total, utilizando el equipo que se muestra en el
3. Cuadro 4.6.
4. Rotular: se identificó cada botella con marcador permanente.
5. Para pruebas microbiológicas esterilizar.

- a. Para el caso de grifos plásticos: Se limpió y esterilizó la salida del grifo con algodón empapado de alcohol 90%.
  - b. Para el caso de grifos de metal: se encendió un algodón empapado de alcohol 90% y se flameó la salida del grifo.
6. Dejar correr el agua por 2-3 minutos.
  7. Tomar la muestra microbiológica: se sacó el recipiente estéril de 250 ml de la bolsa y se llenó el recipiente de agua.
  8. Para parámetros químicos enjuagar: se enjuagó el recipiente de 600 ml 3 veces con el agua a analizar.
  9. Toma de muestra: se llenó el recipiente de 600 ml con agua a analizar. Se dejó un espacio con aire antes de cerrar el recipiente.
  10. Almacenar: Se guardó la muestra de manera vertical en una hielera con hielo.
  11. Traslado de la muestra: Se trasladó la hielera al CEQIATEC y al Laboratorio de la Carrera Ingeniería Ambiental en un plazo menor a 24 horas.

#### **4.4.2 Muestra de agua superficial**

El muestreo de la fuente de agua superficial se realizó en el Río Guarial en las coordenadas CRTM05 Longitud 390797,323 Latitud 1088248,381. Se tomaron 3 muestras puntuales con 15 minutos de diferencia.

Para la toma de muestras se siguió la Guía Técnica: Procedimiento para Toma de Muestra para Aguas Residuales y aguas Superficiales (Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos CEQIATEC, 2019b) el cual se describe a continuación:

1. Ingresar al sitio de muestreo
2. Rotular: se identificó cada botella con marcador permanente.
3. Enjuagar: se enjuagó el recipiente de 600 ml 3 veces con el agua a analizar. Para el caso de los recipientes estériles de 250 ml para prueba microbiológica, este paso no se realizó.

4. Toma de muestra: se llenó el recipiente con agua a analizar. Se dejó un espacio con aire antes de cerrar el recipiente.
5. Almacenar: Se guardó la muestra de manera vertical en una hielera con hielo.
6. Traslado de la muestra: Se trasladó la hielera al CEQIATEC y al Laboratorio de la Carrera Ingeniería Ambiental en un plazo menor a 24 horas.

A las muestras de agua potable se les analizó los parámetros de primer nivel del reglamento de Calidad de Agua Potable, lo que quiere decir: pH, temperatura, cloro residual libre y cloro residual combinado, color aparente, conductividad, olor, turbiedad, *Escherichia coli* y coliformes fecales (Poder Ejecutivo, 2019). Para el caso de las muestras de agua superficial se les analizó Color, Turbiedad, coliformes fecales y *E. coli*.

Una vez las muestras llegadas al laboratorio de la Carrera de Ingeniería ambiental, se procedió a realizarles los análisis de turbiedad, conductividad y color, para esto se utilizó el equipo mostrado en el

Cuadro 4.6. Por otra parte, se utilizó el laboratorio de microbiología del Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), para analizar la prueba de coliformes fecales y *E. coli.*, las cuales estuvieron bajo la supervisión de la microbióloga Andrea Quesada Gonzáles y la bióloga Andrea Araya.

**Cuadro 4.6. Equipos utilizados para medición de los parámetros**

<b>Equipo</b>	<b>Especificaciones</b>
Conductímetro	Marca: Oakton
Medidor de cloro	Marca: Thermmo Scientific. Modelo: Orion AQ3070
Medidor de color.	Marca: Hanna instruments. Modelo: HI 727
pH-metro.	Marca: Hanna instruments
Turbidímetro.	Marca: Oakton T100

Para el análisis de cada uno de los parámetros se siguió el procedimiento establecido en el Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association , American Water Works Association, 2012), según se indica en el Cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7. Metodología utilizada para los análisis N1**

<b>Parámetro</b>	<b>Metodología</b>
pH	4500-H <sup>+</sup> B. Electrometric Method
Temperatura	2550 B. Laboratorio and Field Methods
Conductividad	2510 B. Laboratory Method
Color aparente	2120 C. Spectrophotometric – Single- Wavelength Method
Cloro residual	Adaptación a 4500- Cl G. DPD Colorimetric Method
Olor*	Valoración cualitativa
Turbiedad	2130 B. Nephelometric Method
Coliformes fecales	9221 E. Fecal Coliform Procedure
<i>Escherichia coli</i>	9221 F. <i>Escherichia coli</i> Procedure Using Fluorogenic Substrate

\* Según el Reglamento de Calidad Agua Potable, la valoración se hace de forma cualitativa (Poder Ejecutivo, 2015b).

#### 4.5 DEMANDA DE CLORO

Se coordinó con el administrador del acueducto una segunda fecha para la recolección de muestras y con personal de la carrera Ingeniería Ambiental para hacer uso del laboratorio. La visita de campo consistió en tomar 4 muestras puntuales de agua cruda, antes de pasar por el sistema de cloración, en las diferentes fuentes de abastecimiento que posee la ASADA. El procedimiento de toma de muestra fue el siguiente:

1. Ingresar al sitio de muestreo.
2. Rotular: se identificó cada botella con marcador permanente.
3. Dejar correr el agua por 2-3 minutos.
4. Enjuague: se enjuagó 3 veces el recipiente con el agua a analizar
5. Toma de muestra: se llenó el recipiente de 3,78 L con agua a analizar. Se dejó un espacio con aire antes de cerrar el recipiente.
6. Almacenar: Se guardó la muestra de manera vertical en una hielera con hielo.
7. Traslado de la muestra: Se trasladó la hielera al Laboratorio de la Carrera Ingeniería Ambiental.



Los sitios de muestreos fueron en 4 localidades. La primera muestra se tomó en el Pozo Laberinto, la segunda muestra fue de la Naciente El Tigre y fue tomada de la válvula de aire que se encuentra antes del tanque de Almacenamiento Guarial, la siguiente muestra se tomó del Pozo Paquera y por último se tomó una muestra de agua del Pozo Cuchillo. Una vez llegada la muestra al Laboratorio de la Carrera Ingeniería Ambiental, se procedió a realizar la determinación de demanda de cloro, mediante la metodología que propone López (2001), la cual se encuentra en el Anexo 1: Determinación demanda cloro.

Una vez obtenida la información, se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft Excel para construir la curva de demanda de cloro y determinar la dosis óptima.

#### 4.6 PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR UN FILTRO LENTO ARENA

El diseño propuesto tiene como objetivo aprovechar la estructura ya existente y adecuarla según las necesidades identificadas.

Las dimensiones actuales de la estructura hidráulica según la información suministrada por la ASADA son de 6 m x 3 m y una altura de 2 m. Por lo que los cálculos de diseño parten de un área superficial de 18 m<sup>2</sup>.

El Cuadro 4.8 muestra criterios de diseño recomendado por diferentes autores, los cuales fueron utilizados para el diseño propuesto.

**Cuadro 4.8. Criterio de diseño recomendado para FLA.**

Criterio	Valores recomendados			
	Ten States Standards USA (1987)	Huisman and Wood (1974)	Visscher, et al. (1987)	Cinara, IRC (1997)
Período de diseño (años)	n.e	n.e	10 – 15	8 – 12
Período de operación (h/d)	Ne	24	24	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,08-0,24	0,1-0,4	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3
Altura de arena (m)				
Inicial	0,8	1,2	0,9	0,8
Mínima	n.e	0,7	0,5	0,5
Diámetro Efectivo ( $d_{10}$ ) (mm)	0,30-0,45	0,15-0,35	0,15-0,30	0,15 – 0,30

Continuación Cuadro 4.8

Criterio	Valores recomendados			
	Ten States Standards USA (1987)	Huisman and Wood (1974)	Visscher, et al. (1987)	Cinara, IRC (1997)
Coficiente de uniformidad ( $C_u$ )				
Aceptable	<2,5	<3	<5	<4
Deseable	n.e	<2	<3	>2
Altura del lecho de soporte incluye drenaje (m)	0,4-0,6	n.e	0,3-0,5	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	0,9	1-1,5	1	0,75
Borde libre (m)	n.e	0,2-0,3	0,1	0,1
Área superficial máxima por módulo (m <sup>2</sup> )	n.e	n.e	< 200	< 100

Fuente (Galvis, Latorre, & Visscher, 1999)

Para determinar el caudal de diseño se utilizó la ecuación 4.2, partiendo del área superficial (largo por ancho) y tomando la velocidad de filtración recomendada por Huisman and Wood de 0,4 m/h (Cuadro 4.8) debido a que se recomienda que a menor contaminación del afluente, mayor es la velocidad de filtración (OPS & CEPIS, 2005).

$$Q_d = A_s * V_f \text{ (ec.4.2)}$$

Donde,

$Q_d$	Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)
$A_s$	Área superficial (m <sup>2</sup> )
$V_f$	Velocidad de filtración (m/h)

Se seleccionó la altura y los diámetros efectivos para el lecho de arena y el lecho de soporte según el Cuadro 4.8; más adelante, en la sección de apéndice se puede encontrar la información detalladamente.

A partir de la información, se determinó la siguiente información:

- Caudal de ingreso a orificios, cantidad de orificios y otros detalles.

- Cálculo de los drenes de recolección de agua filtrada; laterales y colector principal, así como sus diámetros.
- Diseño de vertedero.
- Calculo de pérdidas de cargas de orificios, lecho filtrante, lecho de soporte y accesorios.

Las fórmulas utilizadas, así como la memoria de cálculo, se pueden encontrar más adelante en la sección de anexos. Una vez obtenidos los resultados, se procedió a realizar la propuesta de diseño en AutoCAD 2017.

## 4.7 ANÁLISIS OFERTA Y DEMANDA DE AGUA

### 4.7.1 Oferta del recurso hídrico

Para obtener la oferta del recurso hídrico se utilizó el reporte mensual de aforos volumétricos suministrados de forma digital por la ASADA Paquera, para el caso de la Naciente El Tigre, Pozo Cuchillo y Pozo Laberinto el registro tiene datos desde enero del 2017 hasta abril del 2019 y se incluyó el Pozo Paquera el cual tiene un único valor de aforo. Esta información fue analizada utilizando Microsoft Excel.

### 4.7.2 Demanda actual del recurso hídrico

Para determinar la demanda actual de agua, se solicitaron los reportes de micromedición a la ASADA. La información suministrada corresponde al consumo en metros cúbicos y número de abonados activos para cada uno de los sectores abastecidos, para los años 2016, 2017 y 2018. Según la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial para obtener la demanda bruta, se utilizan los datos reales, si se tienen datos de patrones de consumo y demandas de la localidad (ICAA, 2017). Por lo tanto, una vez digitalizada la información se procedió a obtener el consumo por persona por día. Se asumió que el mes tiene 30 días y además se aproximó el número de habitantes abastecidos partiendo del hecho que el número de ocupantes por hogar en el

distrito de Paquera es de 3,3 (INEC, 2011). De esta forma se determinó cual es el consumo promedio para cada sector, utilizando el programa Microsoft Excel.

### 4.7.3 Demanda futura del recurso hídrico

Se tomó la información del Censo Nacional de Población y Vivienda 1973, Censo Nacional de Población y Vivienda 1984, Censo Nacional de Población y Vivienda 2000 y X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011, para obtener la población del Distrito Paquera en esos años Cuadro 4.9.

**Cuadro 4.9. Población del distrito Paquera.**

Censo	Población
1973	4947
1984	4727
2000	5666
2011	6686

Fuente: (INEC, 2019)

Para conocer la demanda de agua futura, se realizó una proyección de la población para dentro de 25 años, es decir para el año 2045. Para los cuales se utilizarán tres métodos de proyección: lineal, geométrico y logarítmico (Garro-Ureña, 2017).

- Método lineal o aritmético

Se utilizó la ecuación 4.3 y 4.4 (Quirós, 2016) para calcular la proyección del distrito de Paquera, con el método de crecimiento lineal.

$$K_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (\text{ec.4.3})$$

Donde,

- $K_a$  Pendiente de la recta
- $P_{uc}$  Población del último censo
- $P_{ci}$  Población del censo inicial

$T_{uc}$  Año del último censo

$T_{ci}$  Año del censo inicial

Para determinar la población se utilizó la expresión 4.4:

$$P_f = P_{uc} + K_a * (T_f - T_{uc}) \text{ (ec.4.4)}$$

Donde,

$P_f$  Población proyectada

$T_f$  Año de la población proyectada

- Método geométrico

Para calcular la población de acuerdo al método de crecimiento geométrico se emplearon las ecuaciones 4.5 y 4.6 (Quirós, 2016).

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \text{ (ec.4.5)}$$

Donde,

$P_f$  Población proyectada

$P_{uc}$  población último año

$r$  Tasa de crecimiento anual

$T_f$  Año de la población proyectada

$T_{uc}$  Año del último censo

La tasa de crecimiento anual se calculó con la expresión 4.6.

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\left( \frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right)} - 1 \text{ (ec.4.6)}$$

Donde,

$P_{ci}$  Población del censo inicial

$T_{ci}$  Año del censo inicial

- Método logarítmico

El crecimiento de la población mediante este método es de forma exponencial y se representa mediante las ecuaciones 4.7 y 4.8 (Quirós, 2016).

$$k_g = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (\text{ec.4.7})$$

Donde,

$P_{cp}$  Población del censo posterior

$P_{ca}$  Población del censo anterior

$T_{cp}$  Año del censo posterior

$T_{ca}$  Año del censo anterior

La proyección se calcula con la expresión 4.8.

$$P_f = P_{ci} * e^{\overline{K_g}(T_f - T_{ci})} \quad (\text{ec.4.8})$$

Donde,

$P_f$  Proyección de la población

$P_{ci}$  Población base

$\overline{K_g}$  Promedio de valores  $K$ , obtenidos de la (ec. 4.7)

$T_f$  Año al que se calcula la proyección

$T_{ci}$  Año Base

Una vez obtenido el consumo diario por persona y la proyección de la población, se calcularon los caudales de diseño: caudal medio diario (Qmd), el caudal máximo diario (QMD) y el caudal máximo horario (QMH). Según la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial del ICAA (2017) para el diseño se deben aplicar los siguientes factores:

- El caudal máximo diario (QMD) será igual a 1,2 veces el caudal promedio diario (Qmd), es decir el factor máximo diario (FMD) es 1,20.

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

Para obtener ambos caudales se utilizó la ecuación 4.9 y 4.10

$$QMD (L/s) = Qmd(L/s) * FMD \text{ (ec. 4.9)}$$

$$QMH (L/s) = QMD(L/s) * FMH \text{ (ec. 4.10)}$$

Para obtener el caudal medio diario ( $Qmd$ ) para la población proyectada se calculó de la siguiente manera ec. 4.11 (Sancho-Vargas, 2019)

$$Qmd = \frac{P * D_{bruta}}{86400} \text{ (ec. 4.11)}$$

Donde,

$Qmd$	Caudal medio diario (l/s)
$P$	Población proyectada al final del periodo de diseño (p)
$D_{bruta}$	Dotación bruta (L/p/d)

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación con los objetivos propuestos del presente estudio, sobre los riesgos en los sistemas de abastecimiento, así como deficiencias en la gestión del sistema de saneamiento de las comunidades que son servidas por la ASADA Paquera, se presentan los resultados obtenidos seguidos de su respectivo análisis.

### 5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

Según información suministrada por el administrador de la ASADA Paquera, el señor Roy Arias Gómez, el acueducto estudiado ha incorporado sistemas de abastecimiento vecinales a lo largo de los años cuya gestión anterior no fue adecuada, por lo que fueron cedidas a dicha ASADA, por esta razón actualmente está compuesto por 3 sistemas, abasteciendo para 1043 abonados activos. El sistema principal y al que se le llama Paquera, se abastece de la naciente

El Tigre, éste suministra agua a 9 barrios, dentro de los cuales está Salinas, Paquera Centro, Paquera, Pueblo Nuevo, Órganos, San Josecito, Pradera 1, Laberinto y Pradera 2 en total posee 971 previstas en un área de cobertura de la red de abastecimiento de aproximadamente 6,5 km<sup>2</sup>. El sistema llamado Cuchillo se construyó en año 2000, sin embargo, durante los años 2002 al 2008, dicho sistema estuvo sin uso y fue en el 2010 que pasó a ser administrado por la ASADA Paquera. Tiene como fuente principal un pozo y abastece 72 abonados en 15,44 km<sup>2</sup> en el cual se encuentran las comunidades de Isla Cedros, Punta Cuchillo y Puerto Paquera. Por último, el tercer sistema se distribuye por un área de cobertura de 1,17 km<sup>2</sup> aproximadamente y se emplea cuando los caudales bajan o hay mayores demandas, este es un pozo que brinda agua a 192 abonados de los barrios Laberinto y Pradera 2. Todos los sistemas cuentan con cloración utilizando hipoclorito de sodio producido por medio de electrólisis y poseen su respectivo tanque de almacenamiento. Además de las fuentes mencionadas, están habilitando la fuente superficial Río Guarial y el Pozo Paquera, ambos actualmente no se encuentran en funcionamiento.

### **5.1.1 Fuentes de Abastecimiento (FA)**

#### ***5.1.1.1 FA. Naciente el Tigre***

Se ubica en las coordenadas CRTM05 Longitud 391301, Latitud 108842 y a una altura de 156,43 msnm. Con número de concesión en MINAE 35R. Según información suministrada por el administrador, la captación se construyó durante 1996 y 1997, sin embargo, producto de una avalancha en 1999, la estructura quedó enterrada. Compuesta por una caja de captación con dimensiones de 5m x 5m y 1,60 m de alto y un ducto o túnel de 36 m de longitud, lugar por donde se capta el agua por medio de un sistema tipo drenaje. El agua proveniente de ambos lugares, en promedio 10,06 l/s, es conducida a una caja de reunión de 1,5 m x 1,5 m. La limpieza de las cajas estructurales es realizada por el fontanero cada 3 meses y los aforos se realizan mensualmente.

En la Figura 5.1 se puede observar las condiciones en las que se encontró el área de la naciente durante la aplicación de la ficha técnica, en la visita del 13 de agosto 2018, en la misma se nota como el área donde se encuentran las estructuras tiene su correspondiente malla perimetral, por otra parte se encontraron las tapas de las cajas de registro con corrosión.



La captación carece de canales para desviar el agua de la escorrentía y de respiraderos o de tubería de rebalse con rejilla de protección haciendo que la estructura se encuentre en un estado de riesgo inminente. Adicionalmente, no está ubicada cerca de zonas de actividad agrícola o industrial, tampoco tiene focos de contaminación evidente alrededor. La estructura se observa sin grietas y cuenta con su respectiva tapa, por lo que evita contaminación ambiental, sin embargo, en la caja de reunión se observaron algunas raíces. En este caso, el nivel de riesgo identificado fue Intermedio (Ver Apéndice 1: Guías de Inspección SERSA: Fuente, Cuadro A.1.1).



**Figura 5.1. Naciente El Tigre, agosto 2018.**

Durante el mes de octubre 2018 la Península de Nicoya sufrió el impacto de un sistema de baja presión que afectó a las comunidades aledañas a los ríos Zelaya, San Rafael, Guarial y Grande. En esta emergencia la ASADA Paquera y otras 21 ASADAs se vieron afectadas, según reportes del ICAA (Presidencia de la República, 2018). La ASADA en cuestión, sufrió importantes daños en el área donde se encuentra ubicada la Naciente El Tigre y la línea de conducción hacia tanque de almacenamiento Guarial. En la Figura 5.2, se puede observar que el principal daño fue en la estructura, ya que quedó sepultada por material del río, quedando algunos sectores bajo tierra, de 1 a 3 metros, también la malla perimetral fue arrastrada por el material del río (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018).



**Figura 5.2. Antes y después de emergencia (octubre 2018). Fuente: (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018).**

Por esta razón en diciembre 2018 se procedió a evaluar la estructura nuevamente con la ficha SERSA. Dentro de las principales afectaciones por la desviación del cauce del río y el arrastre de material fue la pérdida de gran parte de la malla perimetral, quedando de esta forma sin cerca de protección, sin embargo, las estructuras en concreto y las tapas se limpiaron y se pintaron, en Figura 5.3 se pueden observar dichos cambios (Ver Apéndice 1: Guías de Inspección SERSA: Fuente Cuadro A.1.2).



**Figura 5.3. Naciente El Tigre diciembre 2018**

En cuanto al resultado del nivel de riesgo en ambos casos es intermedio ya que otros riesgos como la carencia de respiraderos y canales para desviar las aguas superficiales, se mantuvieron igual en la segunda visita.

### 5.1.1.2 FA. Pozo Cuchillo

Se ubica en las coordenadas CRTM05 Longitud 397542, Latitud 1085675 y a una altura de 10,09 msnm. Con número de concesión en MINAE: 827R. Es un pozo con un nivel freático de 1 m, el nivel dinámico de 0 m y una profundidad de 44 m, posee una bomba de 10 HP sumergida a 36 m, además se encuentra encamisado con una tubería de 150 mm de diámetro con un SDR 26 y el material es de hierro. El caudal aforado es en promedio 5,5 l/s. Como se observa en la Figura 5.4, el pozo tiene cerca de protección, por lo que evita la entrada de personas o animales y está protegido ante contaminantes. La bomba se encuentra en buenas condiciones, sin embargo, se carece de la curva de bombeo del fabricante, también se carece de canales para desviar el agua de escorrentía y no se cuenta con un tubo de 25-28 mm de diámetro para efectuar la medición de los niveles de agua (aforo), además contiguo al pozo se encuentran viviendas por lo que pueden ser fuentes de contaminación. El nivel de riesgo detectado en esta estructura es intermedio (Ver Apéndice 1: Guías de Inspección SERSA: FuenteCuadro A.1.3).



Figura 5.4. Pozo Cuchillo

### 5.1.1.3 FA. Pozo Laberinto

Se ubica en las coordenadas CRTM05 Longitud 395653, Latitud 1086184 y a una altura de 53,08 msnm, con número de concesión en MINAE: 859R. El pozo posee un nivel freático de 2 m, el dinámico de 14 m y una profundidad de 36 m, la tubería tiene un diámetro de 150 mm con un SDR 26 y el material es PVC, el caudal aforado es en promedio 1,85 l/s. Este se encuentra en terreno municipal y está protegido en una casetilla de concreto con su respectiva malla de protección, lo que evita el acceso de personas o animales (Figura 5.5). La bomba



funciona adecuadamente, sin embargo, carece de la curva de bombeo del fabricante, también alrededor del pozo hay fuentes de contaminación, como se observa en la Figura 5.5 el área es utilizada como botadero ilegal, ya que algunos miembros de la comunidad lo utilizan para depositar residuos sólidos. Por último, otro factor de riesgo identificado es la carencia de un tubo de 25-28 mm de diámetro para efectuar la medición de los niveles de agua. El 14 de agosto del 2018, día en el que se aplicó la ficha SERSA, se encontraba fuera de uso, ya que, según personeros del acueducto, el pozo Laberinto es utilizado algunos días al mes como medida de refuerzo. El nivel de riesgo identificado es intermedio (Ver Apéndice 1: Guías de Inspección SERSA: Fuente Cuadro A.1.4).



**Figura 5.5. Pozo Laberinto**

#### ***5.1.1.4 Toma de agua superficial***

La captación de agua superficial, se encuentra en el Río Guarial, en las coordenadas CRTM05 Longitud 390797,323 Latitud 1088248,381 y a una altura de 211,8 msnm. Cómo se puede observar en la Figura 5.6, la captación está construida de forma artesanal, empleando piedras y sacos para construir una presa. Actualmente no se utiliza, ya que está prevista para que entre en funcionamiento a partir del año 2020, y tendría como finalidad, reforzar el suministro de agua en la época de verano únicamente. El nivel de riesgo identificado es Alto. El diagnóstico completo de la infraestructura se puede observar en el Apéndice 1: Guías de Inspección SERSA: FuenteCuadro A.1.5.



**Figura 5.6. Captación Agua superficial Río Guarial**

La ASADA a lo largo del tiempo ha trabajado en la construcción de un filtro para tratar las aguas de esta fuente superficial. Este filtro tiene 3 compartimentos separados por una pared perforada, se observa que el sentido de flujo en los lechos es horizontal, cada cámara de filtración tiene 2 m de altura y una dimensión 2 m x 3 m y con un lecho filtrante de piedra papa mediana, según información suministrada por el acueducto. La ASADA no posee registro de aforos de la fuente, así como de estudios de calidad de agua, y no se tiene establecido cual es el caudal que va a ingresar al filtro.



**Figura 5.7. Filtro para agua superficial**

En la Figura 5.7, se observan los cambios que se le han realizado a la infraestructura durante el tiempo de estudio. En la primera visita realizada el 13 de agosto del 2018 la infraestructura tenía techo y ya tenía parte del lecho filtrante. Sin embargo, después de la emergencia de octubre 2018; la estructura cedió, producto de la caída de un árbol. Por último, en la visita realizada en mayo 2019, se observa la eliminación de la estructura del techo y en el perímetro de la construcción, se construyó un muro tipo zócalo, con tres hiladas de block.

## 5.1.2 Tanque de Almacenamiento (TA)

### 5.1.2.1 TA Guarial

El tanque de almacenamiento Guarial está ubicado a 30 m del quebrador Guarial, se encuentra en las coordenadas CRTM05 Longitud 394799, Latitud 1086776 y a una altura de 58,52 msnm, con dimensiones de 10 m x 10 m x 2,2 m para una capacidad de 220 m<sup>3</sup> (Hidrotec Internacional, 2015). Este tanque está en un terreno de 1 hectárea de propiedad del acueducto. Es un tanque semi-enterrado construido en concreto. El mantenimiento es brindado por los fontaneros cada 6 meses. La estructura del tanque no presenta grietas, las tapas están construidas de forma sanitaria, cuenta con su sistema de cloración, el cual se describe más adelante, en el interior del tanque no se observan sedimentos, algas o algún otro agente, el nivel de agua estaba a aproximadamente 30 cm por debajo del nivel máximo de la capacidad total del tanque en la visita realizada el 13 de agosto del 2018 a las 10:45 am. La losa superior se encuentra en buen estado, además cuenta con respiraderos, las tapas tienen cierres seguros, sin embargo a pesar que algunas tapas se encuentran en buenas condiciones, otras se hallan con corrosión, por lo que se toma como un factor de riesgo Figura 5.8. Además, la estructura carece de un borde de concreto alrededor del tanque que evite la socavación causada por agua de escorrentía. El nivel de riesgo identificado es Bajo (Ver Apéndice 2: Guías de Inspección SERSA: Tanques de almacenamiento Cuadro A.2.1).



Figura 5.8. Tanque de almacenamiento Guarial



### 5.1.2.2 TA Cuchillo

El tanque Cuchillo Figura 5.9, se ubica a 100 m Sur y 300 m Este de Puerto Paquera, y se localiza en las coordenadas CRTM05 Longitud 400871,0 y Latitud 1086774,2 y a una altura de 91,68 msnm y con una capacidad de almacenaje de 98 m<sup>3</sup> (Hidrotec Internacional, 2015). La propiedad pertenece al Concejo Municipal del Distrito Paquera y el tanque se encuentra en terreno marítimo terrestre. Es un tanque semi-enterrado construido en concreto, el mantenimiento por parte de los fontaneros se realiza cada seis meses.

Durante la visita se encontró que el acceso al tanque es fácil, debido a que carece de una cerca de protección. Así mismo, la estructura no posee un borde de concreto alrededor de este, lo que permite socavación del tanque por aguas de escorrentía. Las tapas como se muestra en la Figura 5.9, presentan corrosión, por lo que lo hace un factor de riesgo. El nivel de riesgo identificado es Intermedio (Ver Apéndice 2: Guías de Inspección SERSA: Tanques de almacenamiento Cuadro A.2.2).



Figura 5.9. Tanque de almacenamiento Cuchillo

### 5.1.2.3 TA Laberinto

El tanque Laberinto se encuentra a 100 m Sur y 600 m Oeste de la entrada principal a Barrio Laberinto, y se ubica en las coordenadas CRTM05 Longitud 395689, Latitud 1086226 y tiene una capacidad de almacenaje de 38 m<sup>3</sup> (R., Arias comunicación personal, 14 de agosto, 2018). Es un tanque semi-enterrado construido en concreto y ubicado en propiedad privada. Durante

la visita del 14 de agosto del 2018 el tanque se encontró fuera de funcionamiento. Las paredes de la estructura se encuentran con moho en algunos sectores, mientras que la losa superior, está completamente llena de éste, como se observa en la Figura 5.10, sin embargo, no se observan paredes agrietadas. En cuanto al estado de las tapas, estas poseían sus respectivos cierres de seguridad, no obstante, estaban corroídas y con agua estancada en su superficie, por lo que se encontraron en condiciones no sanitarias. Este tanque carece de un borde de concreto alrededor de la estructura, está ubicado lejos de fuentes de contaminación como viviendas, basura, actividad agrícola o industrial, cuenta con respiraderos y tubería de rebalse, además tiene una cerca que se encuentra en mal estado, por lo que posee fácil acceso. El riesgo identificado para este componente es intermedio (Ver Apéndice 2: Guías de Inspección SERSA: Tanques de almacenamiento Cuadro A.2.3).



**Figura 5.10. Tanque de almacenamiento Laberinto**

### **5.1.3 Sistema de cloración**

#### **5.1.3.1 Guarial**

En la Figura 5.11, se muestra el sistema de desinfección construido en el año 2014, se encuentra en una caseta en la losa superior del tanque de almacenamiento Guarial. Funciona por electrólisis y la dosificación del hipoclorito de sodio se realiza de manera continua. La preparación del hipoclorito de sodio la realiza el fontanero de manera sistemática, ya que para preparar la salmuera emplea 450 litros de agua y 13 kg de sal industrial de alta pureza, se introduce la célula de electrólisis y se deja preparando el hipoclorito de sodio por 24 horas, una vez listo, la cantidad del hipoclorito sódico se dosifica aproximadamente durante 48 horas hasta que se acaba (R., Arias comunicación personal, 9 de enero, 2019). A pesar de



anotar el día en el que se prepara el hipoclorito de sodio, se carece de una bitácora en la cual se registren los siguientes datos:

- Dosificación de la solución de hipoclorito de sodio (l/min)
- Registros del caudal de agua que va a ser clorada (ingreso de agua cruda al tanque de almacenamiento (l/s))
- Concentración de la solución de hipoclorito de sodio aplicada (mg/l)

El fontanero está capacitado para la preparación y aplicación de la disolución de hipoclorito de sodio. Sin embargo, se carece del equipo de protección adecuado, además a pesar de tener equipo para medir cloro residual, no se lleva un registro de los niveles del mismo en el tanque de almacenamiento. Según el resultado de la ficha SERSA el nivel de riesgo identificado es Alto (Ver Apéndice 3: Guías de Inspección SERSA: Sistemas de cloración Cuadro A.3.1).



Figura 5.11. Sistema de cloración del tanque de almacenamiento Guarial

### 5.1.3.2 Cuchillo

El sistema se construyó en el 2000 sin embargo, el sistema de cloración actual es del 2010 (Figura 5.12). La preparación del desinfectante se realiza de la misma manera que se explicó en el punto 5.1.3.1 sin embargo lo que cambia es el tamaño de los recipientes, por esta razón agregan aproximadamente 4 kg de cloruro de sodio por cada 250 litros de agua (R., Arias comunicación personal, 9 de enero, 2019). Al igual que el sistema anterior, se carece de protección para preparar la disolución de hipoclorito de sodio, así como registros del consumo del mismo y de una bitácora de dosificación, por lo que se carece de registros del caudal y concentración de la dosis de hipoclorito de sodio aplicada. La diferencia de este

sistema de cloración con los demás, es que este cuenta con macromedidor, por lo tanto, si se cuenta con registros del caudal de agua para ser clorada. El nivel de riesgo identificado para este componente es Alto (Ver Apéndice 3: Guías de Inspección SERSA: Sistemas de cloración Cuadro A.3.2).



**Figura 5.12. Sistema de cloración del pozo Cuchillo**

### **5.1.3.3 *Laberinto***

Este sistema de cloración, se encuentra en la misma casetilla donde se ubica el pozo Laberinto Figura 5.13, cuenta con 2 recipientes de 250 litros cada uno para preparar el hipoclorito de sodio, por lo que la preparación es la misma que la del sistema del pozo Cuchillo. Este sistema de cloración posee los mismos factores de riesgo identificados en el sistema Guarial. El resultado de la ficha SERSA indica un riesgo alto (Ver Apéndice 3: Guías de Inspección SERSA: Sistemas de cloración Cuadro A.3.3).



**Figura 5.13. Sistema de cloración del pozo Laberinto**

#### 5.1.4 Línea de Conducción

Según la información suministrada por el administrador, la línea de conducción que conecta pozo Cuchillo con su respectivo tanque, tiene una longitud de 4 km, toda la tubería es de 100 mm de diámetro de PVC, esta línea posee tramos que tienen hasta 18 años de antigüedad. La línea de conducción de pozo Laberinto a tanque Laberinto, tiene 0,5 km de longitud, su tubería posee 12 años de antigüedad y el diámetro es de 37 mm en PVC. Se posee con los esquemas del sistema de conducción, tienen artefactos para purgar y desfogue de aire, no se observan fugas, no hay tramos descubiertos que puedan ser alterados, tampoco hay tramos en lugares colindantes que requieran soportes, la presión en la red no tiene variaciones significativas. Para ambos casos el nivel de riesgo identificado es nulo Apéndice 4: Guías de Inspección SERSA: Línea de conducción Cuadro A.4.2 y Cuadro A.4.3.

La línea de conducción de la naciente al tanque Guarial tiene una longitud de 6 km, posee tramos con hasta 20 años de antigüedad, el diámetro mayor es de 150 mm y el menor de 100 mm (R., Arias comunicación personal, 13 de agosto, 2018). A esta línea se le aplicó 2 veces la ficha SERSA. La primera se realizó en agosto 2018, durante esta visita el riesgo identificado fue Bajo ver Apéndice 4: Guías de Inspección SERSA: Línea de conducción Cuadro A.4.1. En la Figura 5.14, se observan que las líneas se encontraban en dos sectores descubiertas, con riesgo de ser alterada, además de estar en lugares colindantes, sin un adecuado soporte.



Figura 5.14. Línea de conducción Naciente El Tigre a TA Guarial agosto 2018

La segunda evaluación se realizó en diciembre 2018, ver Apéndice 4: Guías de Inspección SERSA: Línea de conducción Cuadro A.4.2, ya que como se mencionó anteriormente,



durante el mes de octubre 2018 la línea de conducción se vio fuertemente afectada por la emergencia, en la Figura 5.15, se observa como el terreno cedió y la tubería cayó al cauce del río.



**Figura 5.15. Línea de conducción Naciente el Tigre a TA Guarial octubre 2018.**  
Fuente: (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018).

Durante la emergencia se trabajó en restaurar la línea de conducción, así como los caminos de acceso hacia la naciente, el principal cambio fue que la tubería pasó de ser en mayor longitud de PVC a Polietileno con un diámetro de 150 mm, en la Figura 5.16. se observa el trabajo realizado para colocar la nueva tubería.



**Figura 5.16. Línea de conducción Naciente El Tigre a TA Guarial durante la rehabilitación**  
Fuente: (R., Arias comunicación personal, 10 de diciembre, 2018).

En la visita realizada en diciembre 2018, se aplicó nuevamente la herramienta SERSA y en este resultado se dio nuevamente un riesgo bajo, a pesar de haberse corregido los problemas que se mostraban en la Figura 5.14, se descubrió un sector de al menos 2 m de longitud en PVC que puede ser alterado (Figura 5.17) (Ver Apéndice 4: Guías de Inspección SERSA: Línea de conducción).



Figura 5.17. Línea de conducción Naciente el Tigre a TA Guarial diciembre 2018

### 5.1.5 Línea Distribución

Según la información suministrada por la ASADA, el sistema principal tiene una longitud de 30 km, tiene tramos en PVC y en Polietileno de Alta Densidad, los diámetros van de los 150 mm a los 25 mm. Por otra parte, la línea de distribución de Cuchillo tiene 6 km de longitud, el diámetro más grande es de 100 mm y el menor es de 25 mm, este sistema tiene un tramo de 800 m en tubería de polietileno de alta densidad que atraviesa el mar Figura 5.18, ya que este sistema abastece a Isla Cedros, además tiene otros tramos en tubería de PVC. Estos dos sistemas tienen un riesgo nulo, (ver Apéndice 5: Guías de Inspección SERSA: Línea de distribución Cuadro A.5.2 y A5.3), mientras que Laberinto se identificó como bajo ya que este carece de un sistema para purgar. El sistema Laberinto tiene una longitud de 1,5 km, su mayor diámetro es de 75 mm y el menor es de 25 mm, a pesar que no se presentan uniones ilícitas que pongan en riesgo la calidad del agua si se dan casos en los que los abonados activan mangueras cuando les cortan el agua (Ver Apéndice 5: Guías de Inspección SERSA: Línea de distribución Cuadro A.5.1).



**Figura 5.18. Línea distribución a Isla Cedros**

#### ***5.1.5.1 Resumen de riesgos identificados en los componentes de la ASADA Paquera***

Globalmente se puede observar en el Cuadro 5.1 que las líneas de distribución y conducción son los componentes con riesgos más bajos; dos de las líneas de conducción y dos líneas de distribución, tienen Riesgo Nulo, SERSA los codifica con color azul. Además, en Riesgo Bajo, identificado con color celeste, se encuentran tres estructuras, una línea de conducción de la naciente El Tigre a tanque Guarial, el tanque Guarial y la línea de distribución de Laberinto. Por otra parte, cinco estructuras se encuentran con Riesgo Intermedio, donde se encuentran las fuentes de abastecimiento: Cuchillo, Laberinto y Naciente, y los tanques de almacenamiento Cuchillo y Laberinto, estos componentes poseen color verde. Mientras que el riesgo más alto lo poseen, la captación superficial Río Guarial y los tres sistemas de cloración, obteniendo de 5 a 7 respuestas positivas, lo que equivale a un Riesgo Alto en color amarillo.

**Cuadro 5.1. Resumen de riesgos según Fichas SERSA ASADA Paquera**

Ficha SERSA	Nombre del componente	Número de respuestas con "sí"	Clasificación de Riesgo	Código de color
Captación Naciente	El Tigre	4	Intermedio	Green
Captación Naciente	El Tigre	3	Intermedio	
Pozo	Cuchillo	4	Intermedio	
Pozo	Laberinto	3	Intermedio	
Fuente Superficial	Río Guarial	7	Alto	Yellow
Tanque Almacenamiento	Guarial	2	Bajo	Light Blue
Tanque Almacenamiento	Cuchillo	3	Intermedio	Green
Tanque Almacenamiento	Laberinto	4	Intermedio	Green
Sistema de cloración	Guarial	6	Alto	Yellow
Sistema de cloración	Cuchillo	5	Alto	
Sistema de cloración	Laberinto	6	Alto	
Línea conducción	Naciente	2	Bajo	Light Blue
Línea conducción	Naciente	2	Bajo	
Línea conducción	Cuchillo	0	Nulo	Dark Blue
Línea conducción	Laberinto	0	Nulo	
Línea de distribución	Naciente	0	Nulo	
Línea de distribución	Cuchillo	0	Nulo	Light Blue
Línea de distribución	Laberinto	1	Bajo	

La calidad del agua se ve afectada por las condiciones que presentan las estructuras del sistema de abastecimiento. Es por ello la importancia de vigilar y mantener la integridad estructural y sanitaria de cada componente; desde el momento en el que se da la captación del agua, hasta su entrega final de la red de distribución. Como se observa en el Cuadro 5.1, los riesgos más altos se encuentran en los sistemas de cloración y la fuente superficial, seguido de riesgos intermedios en tanques de almacenamiento y fuentes de abastecimiento.

El principal factor de riesgo identificado en el sistema de cloración, es la falta de registros de caudales (caudal del agua cruda y de la dosificación de la solución de cloro), concentración de la dosis de cloro aplicada, entre otros. Es de suma importancia mantener un control de la operación, mediante una bitácora, para poder identificar comportamientos inusuales en el proceso de potabilización y poderlos corregir a tiempo, además es una herramienta para aproximar la dosificación del hipoclorito de sodio de una manera más sencilla en épocas de verano o invierno, donde los caudales merman y por lo tanto se debe ajustar la dosis del desinfectante.

Otro de los riesgos identificados en los diferentes componentes, fue la falta de malla perimetral, es importante mantener las áreas seguras para evitar la entrada de animales o personas no autorizadas que puedan provocar daños o realizar actos vandálicos. También otro riesgo identificado es la falta de bordes de concreto, para el caso de los tanques de almacenamiento, la función de estos es evitar la socavación de los soportes y base de la estructura y por lo tanto la inestabilidad de la misma, además previene la erosión del área. Otro factor de riesgo es la falta de canales de desviación, estos cumplen un papel importante ya que evitan la infiltración de aguas superficiales a la toma, así como daños en las estructuras por socavación

Las tapas de las estructuras son barreras que evitan el ingreso de contaminantes del aire, insectos, aves, roedores, además impiden el ingreso de excrementos, hojas y otros restos que puedan ser aspirados hacia el interior de las estructuras, de esta manera mantiene el agua libre de contaminación. Por lo tanto, es indispensable construirlas adecuadamente y darles el mantenimiento necesario, para evitar, además de lo descrito anteriormente, la corrosión de las mismas y el desprendimiento de estos.

## 5.2 FORMULARIO UNIFICADO

Aplicando el Formulario Unificado del ICAA (2017a), se tiene como resultado un total de 86,0 puntos obtenidos, como se muestra en el Cuadro 5.2. Según el ICAA (2017a) en el Formulario Unificado de Información sobre Organizaciones Comunales Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento esta calificación se encuentra en el ámbito de 80% a 100%, lo que quiere decir que la ASADA Paquera está en la Categoría A Consolidada. Así pues, según la categorización de la Cuadro 4.3, la organización y el funcionamiento es adecuado, por lo que la ASADA presta un servicio de altos estándares de calidad.

**Cuadro 5.2. Calificación por áreas de funcionamiento**

<b>Áreas de funcionamiento</b>	<b>Variab Evaluadas</b>	<b>Puntos Total</b>	<b>Puntos Obtenidos</b>	<b>Calificación Porcentual</b>
Gestión Administrativa Financiera	13	25	24,5	98%



Continuación del cuadro 5.2

Áreas de funcionamiento	Variables Evaluadas	Puntos Total	Puntos Obtenidos	Calificación Porcentual
Gestión Comercial	10	15	15,0	100%
Gestión Comunal	5	15	11,0	73%
Gestión del Recurso Hídrico	5	15	11,0	73%
Gestión de Sistemas de Agua Potable	10	30	24,5	82%
Total	43	100	86,0	86%

Se puede observar en el Cuadro 5.2, que dentro de las áreas de funcionamiento hay dos que están alrededor del 70%. Por otra parte, en la Figura 5.19 se grafica la cercanía de los puntos obtenidos con los puntos totales que corresponden a cada gestión, se observa como la Gestión Administrativa Financiera por poco obtuvo los 25 puntos totales, mientras que la Gestión Comercial logró obtener la totalidad de los puntos, por otra parte para la Gestión Comunal y Gestión del Recurso Hídrico, los puntos obtenidos están por encima de los 10, siendo 15 el puntaje total y Gestión de Sistemas de Agua Potable es el que está más alejado de la línea roja de Puntos Total.

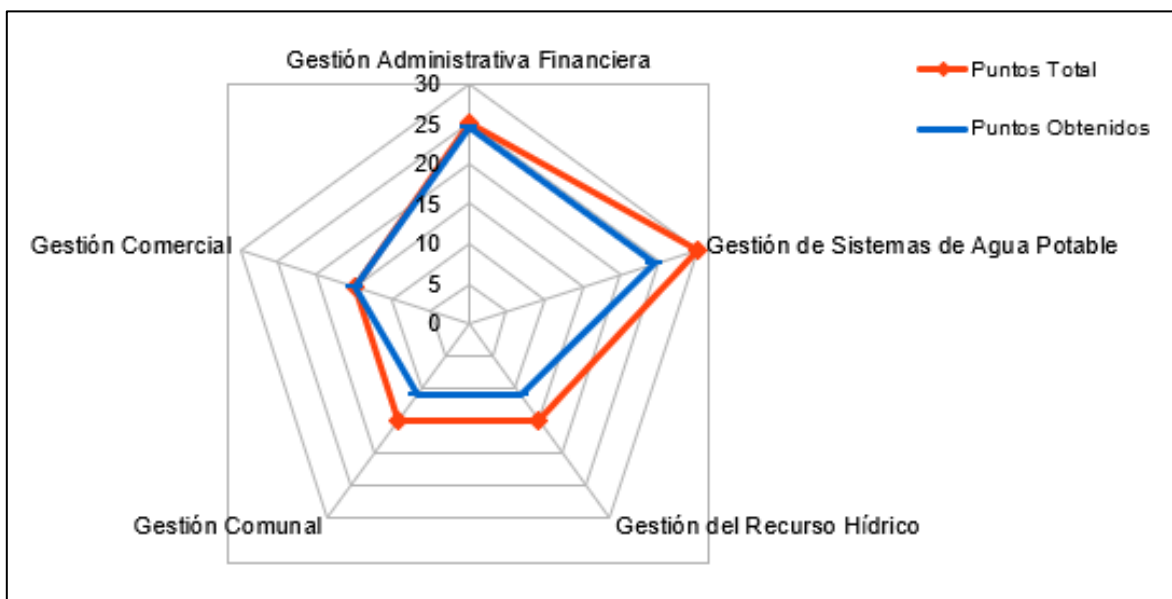


Figura 5.19. Graficación de brechas en el funcionamiento

En el Cuadro 5.3, se puede observar cuales son algunas de las deficiencias que posee el acueducto y las que afectaron la ponderación del resultado (véase Apéndice 6: Formulario Unificado).

**Cuadro 5.3. Deficiencias en la evaluación por áreas de funcionamiento**

<b>Áreas de funcionamiento</b>	<b>Fallos o deficiencias en la evaluación</b>
Gestión administrativa Financiera	El libro de Actas de Junta Directiva está desactualizado.
Gestión comunal	El porcentaje de abonados que son socios es menor al 50% y mayor al 0% Socios en las Asambleas es menor al 50% y mayor al 0%.
Gestión del Recurso Hídrico	No tienen áreas de protección definidas.
Gestión de Sistemas de Agua	No tienen Manual de Mantenimiento y Operación del sistema. La frecuencia de interrupción del servicio es 2 veces/año. No hay un plan de gestión de riesgos.

En esta evaluación se puede observar que el porcentaje de abonados que son socios es menor al 50%, esto quiere decir que la participación ciudadana es poca, siendo esto un problema, ya que en los sistemas de agua potable (SAP), dicha participación legitima el interés social; una población informada, garantiza el éxito del desarrollo y la gestión (ICAA, 2016). Además genera compromiso, redes de apoyo, responsabilidad y aumenta el sentido de pertenencia, por lo que la continuidad de proyectos o la aceptación de nuevos por parte de la ciudadanía, da resultados positivos y productivos (Pérez-Vera & Ortiz-Torres, 2013).

El ICAA da un peso muy grande a la variable de áreas protegidas, esta determinación es un faltante en la ASADA Paquera y repercute en gran medida en la calificación de la Gestión del Recurso Hídrico. La importancia de esta variable es el aporte que las áreas brindan a los SAP, debido que la vegetación mantiene la calidad de las aguas y en algunos casos, favorece

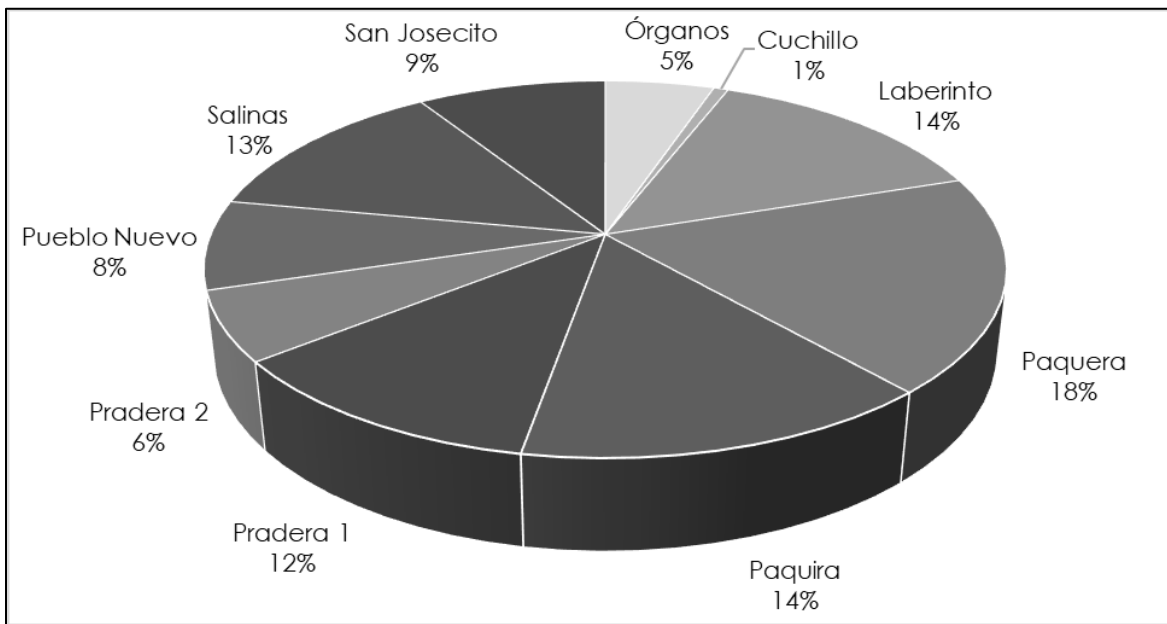
el aumento de la cantidad de la fuente, debido a que funciona como zonas de filtración, en estas se da una renovación de las aguas subterráneas y un mantenimiento de los caudales naturales, además ante impactos debido al cambio climático ayuda a disminuir los efectos (Pabon-Zamora et al., 2008). Según el ICAA (n.d.), “ *Las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable que protege el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de agua potable, así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas* ” deben tener un área protegida no menor a doscientos metros y/o queda a criterio técnico determinar cuál es la zona que debe protegerse.

Como se mencionó al inicio de la investigación, la continuidad del servicio de agua forma parte de las “cinco C” que conforman el servicio óptico del suministro de agua. Por esta razón se debe gestionar adecuadamente las interrupciones del servicio. El manual de operaciones y mantenimiento, es necesario para planificar cuando y a que componente se le debe realizar un mantenimiento preventivo, así como conocer con claridad la manera de realizar las operaciones; ambas acciones son elementos para mantener la sostenibilidad de los SAP.

Otra de las variables evaluadas por el ICAA son los planes de gestión de riesgos, debido a que, ante situaciones de riesgo o emergencias producidos por eventos naturales o antrópicos, los sistemas de agua potable y saneamiento son garantes de la salud pública. Según el ICAA (2016) los SAP por sus características de gran extensión geográfica, ubicación de muchos de sus componentes en zonas de amenazas naturales, condiciones de diseño poco flexibles, las hacen vulnerables a estos eventos. Además, el grado de afectación está en función de la amenaza, por lo tanto, varían los efectos de terremotos, deslizamientos, inundación, efectos de un huracán, sequía y los efectos de amenazas antrópicas. Por lo tanto, se debe promover inversiones que aseguren la resiliencia ante esos eventos y planes para conocer qué medidas tomar ante tales situaciones para rehabilitar los sistemas lo antes posible, por lo que la preparación, prevención y mitigación ante desastres es fundamental.

### 5.3 DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD

En total se logró la participación de 286 abonados, distribuidas en once sectores, la Figura 5.20 muestra el porcentaje de encuestas obtenidas por comunidad. Se obtuvo que el promedio de miembros por hogar es de 3,9 habitantes, dato que se aproxima al obtenido según el Censo del 2011, cuyo promedio de ocupantes por hogar para el distrito de Paquera es de 3,3 (INEC, 2011).



**Figura 5.20. Porcentaje de encuestas aplicadas según comunidad**

Según los resultados, el 100% de los hogares encuestados cuenta con micromedidor y el 98,6% afirma que recibe agua continuamente las 24 horas del día, resultados que infieren en cuanto a cobertura y continuidad, el acueducto brinda un buen servicio. Por otra parte, se podría deducir que existe confianza por parte de los abonados con respecto a la calidad, ya que el 90% ingiere el agua tal como se la suministra el acueducto, contrario al 10% que afirma brindarle algún tipo de tratamiento al agua que consume, siendo la filtración el sistema más utilizado Cuadro 5.4. Además, el 15,4% afirma comprar agua embotellada y un 13,6% de la muestra posee un tanque para almacenar agua llovida, este dato podría indicar que la población no tiene problemas en cuanto a la cantidad y continuidad del agua, ya que la mayoría de los abonados no han tenido la necesidad de recurrir a inversiones en dispositivos

para el almacenaje y aprovechamiento de agua llovida. Además, se observa que en las comunidades no es una práctica común el tener algún dispositivo de bajo consumo, ya que sólo el 10,5% de los hogares posee algún aparato para ahorrar agua, este bajo porcentaje puede deberse también a que los costos de estos dispositivos son elevados; sin embargo, en la mayoría de los hogares si tienen el cuidado de revisar que sus tuberías o accesorios carezcan de fugas, caso contrario al 14,0% de los encuestados, que afirma conocer al menos una fuga en alguna parte de la casa.

**Cuadro 5.4. Tratamiento al agua en los hogares**

<b>Tratamiento</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ninguno	89,5
Filtración	6,6
Se hierve	3,5
Cloración	0,3

Como se observa en la Figura 5.21, la utilización del tanque séptico para disponer las aguas residuales provenientes de los inodoros es del 95%, además se observa como los caños son el segundo lugar de disposición para las aguas residuales (grises y jabonosas) provenientes de las pilas y fregaderos, así como de las duchas. El 37,8% de la muestra afirma detectar malos olores provenientes de aguas descompuestas cerca de su casa.

La disposición de las aguas negras mediante tanque séptico es un tratamiento común en el país, sin embargo, las aguas grises y jabonosas son dispuestas en muchos hogares en las cunetas de agua pluvial, es una práctica que se ha extendido y en cierta forma se ha normalizado, por otra parte, estas aguas deben ser tratadas ya sea por medio de tanque séptico, drenaje independiente, alcantarillado sanitario o planta de tratamiento como parte fundamental del saneamiento. Esta práctica además de provocar problemas ambientales, también causa problemas sanitarios ya que la descomposición de aguas estancadas produce malos olores y atrae plagas como roedores, moscas, y otros insectos que pueden ser portadores y trasmisores de enfermedades.

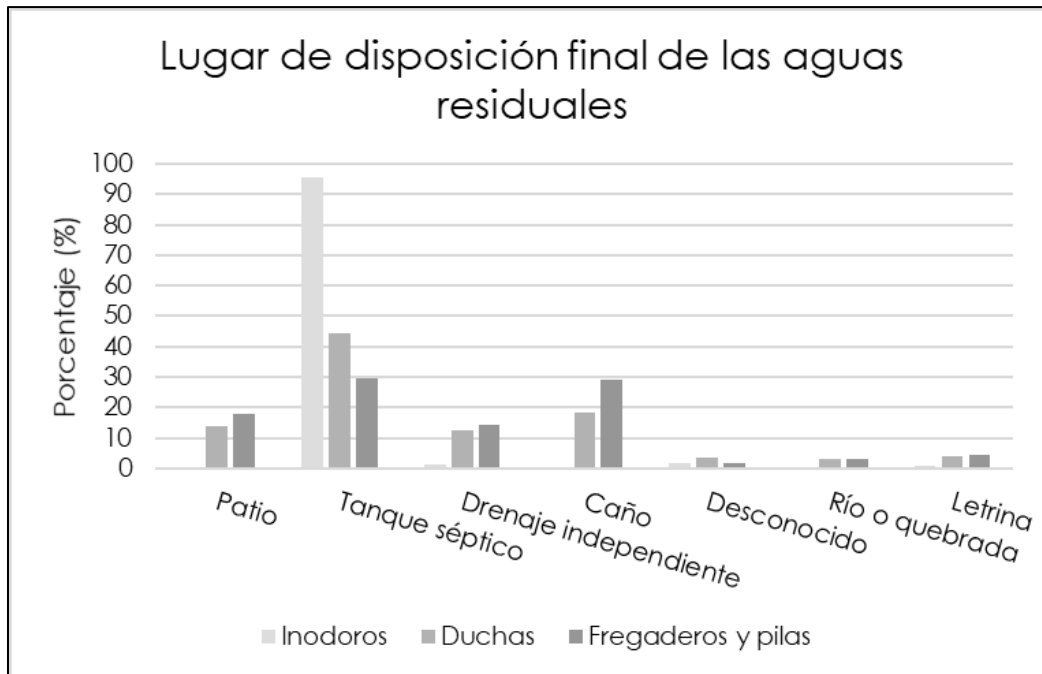


Figura 5.21. Lugar de disposición de las aguas residuales proveniente de distintas áreas del hogar

El 82,5% de las viviendas cuentan con un único servicio sanitario y el 53% dice tener un inodoro de bajo consumo (instalado a partir del 2000). Además, el 76,9% afirma que el tanque séptico tiene área de drenaje, por otra parte, el 32,2% indica que el inodoro tiende a fallar en invierno.

El diseño de un tanque séptico toma en cuenta la cantidad de agua residual a tratar, ya que este valor va a determinar el dimensionamiento del sistema. Por lo tanto, la cantidad de servicios sanitarios, así como el consumo de los mismos influyen en el adecuado funcionamiento, y también en las áreas de drenaje, este detalle aunado a la capacidad de filtración del suelo, puede afectarse aún más en épocas de invierno, donde la precipitación aumenta y por ende la saturación de los suelos también, provocando fallas en los drenajes y de esta forma afectando el tratamiento de las aguas residuales.

Se consultó sobre la ubicación del tanque séptico, ya que este punto tiene importancia para proyectos futuros, principalmente para alcantarillado sanitario, ya que la ubicación del tanque séptico en el jardín frente a calle pública, permite de una forma más sencilla la conexión domiciliaria de la prevista a la red de alcantarillado sanitario que se construiría en un futuro.

Sin embargo, solo 1% de los hogares encuestados dice tener el tanque séptico en el jardín del frente, mientras que el 74% de los hogares lo tiene detrás de la vivienda, un 21% respondió que al lado de la vivienda y el 3% restante desconoce la ubicación del tanque séptico.

Con respecto del manejo de residuos sólidos en la comunidad, se obtuvo que el 55,6% de los hogares afirma no separar los residuos sólidos, mientras que el 16,8% se los entrega a alguna persona que pasa recogiendo material por sus casas. El 71,7% asegura reutilizar materiales como bolsas, cajas y papeles. Por otra parte, como se muestra en el Cuadro 5.5, los residuos ordinarios mayoritariamente son entregados al camión municipal. Igualmente sucede con los papeles del servicio sanitario, el 52,2% de los encuestados afirman depositarlos en un basurero que luego se recoge y se lo lleva el camión de la basura, mientras que el 34,3% afirman que queman dichos residuos.

**Cuadro 5.5. Disposición de los residuos sólidos ordinarios en las comunidades abastecidas por la ASADA Paquera**

<b>Disposición de los residuos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Camión Municipal	60,5
Camión Privado	18,2
Se entierran	1,7
Río o quebrada cercana	0,7
Se queman	20,3

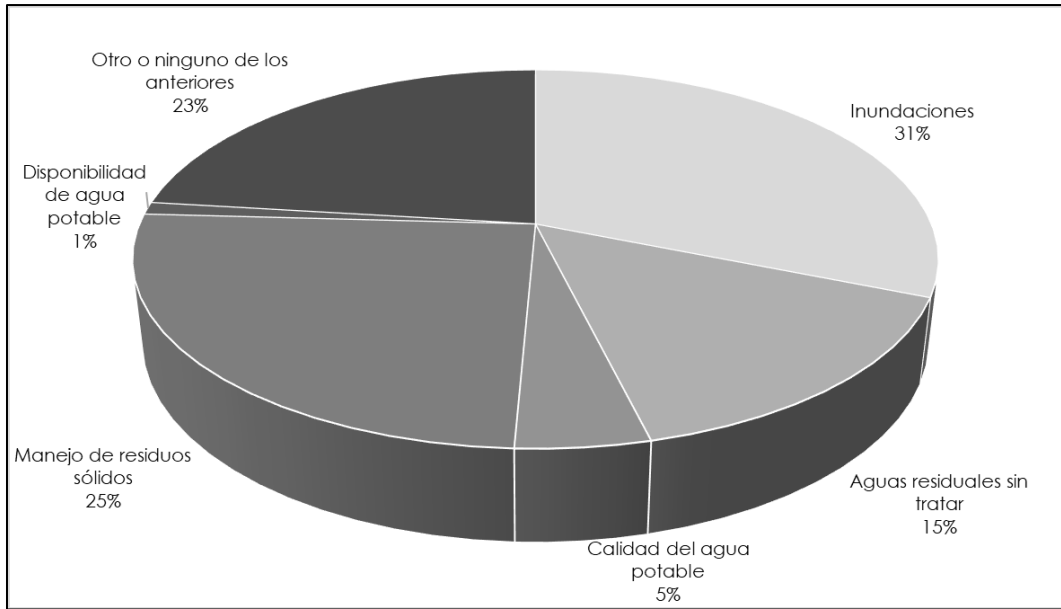
Según los resultados del INEC en el censo del 2011, el 43,75% de la población del distrito de Paquera quema los residuos, el 36,24% lo entrega al camión recolector, el 11,66% lo botan en un hueco o entierran y el 0,04% lo botan en un río, quebrada o mar. Estos resultados son muy distintos a los que se muestran en el Cuadro 5.5 en donde se indica que casi el 80% de la población entrega sus residuos a un camión recolector. Durante la aplicación de la encuesta, se percibió duda con respecto al servicio de recolección, ya que muchos desconocen si es la Municipalidad la que gestiona el servicio o si son camiones privados los que lo brindan, además muchos manifestaron un malestar por los altos costos del servicio. Hecho que podría influir en el porcentaje de la población que decide optar por otras maneras de disponer los residuos sólidos.

En cuanto a aspectos de compromiso ambiental y de salud, el 94,8% de la muestra afirma no tener recipientes desocupados que acumulen agua y puedan servir de criaderos de mosquitos. Por otra parte, el 29,4% de las personas encuestadas afirman que alguna persona en su hogar sufrió de diarrea y el 21,3% de vómitos, en los últimos seis meses.

Debido a que la encuesta se aplicó durante abril del 2019, los seis meses previos abarcan desde octubre del 2018, fecha en la que ocurrió el sistema de baja presión que afectó la Península de Nicoya (Presidencia de la República, 2018), según especialistas de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), ante importantes inundaciones se suele incrementar brotes de diarreas, infecciones respiratorias, leptospirosis, entre otros padecimientos y *“la falta de agua potable, sistemas inadecuados de evacuación de desechos, cambios bruscos de temperatura, exposición al agua de lluvias, así como la inhabilitación de algunas rutas de acceso constituyen factores de riesgo para la aparición de estas enfermedades”*(Castro, 2018). Por lo que existe la posibilidad que estos casos de diarreas y vómitos hayan sido causados por este problema sanitario.

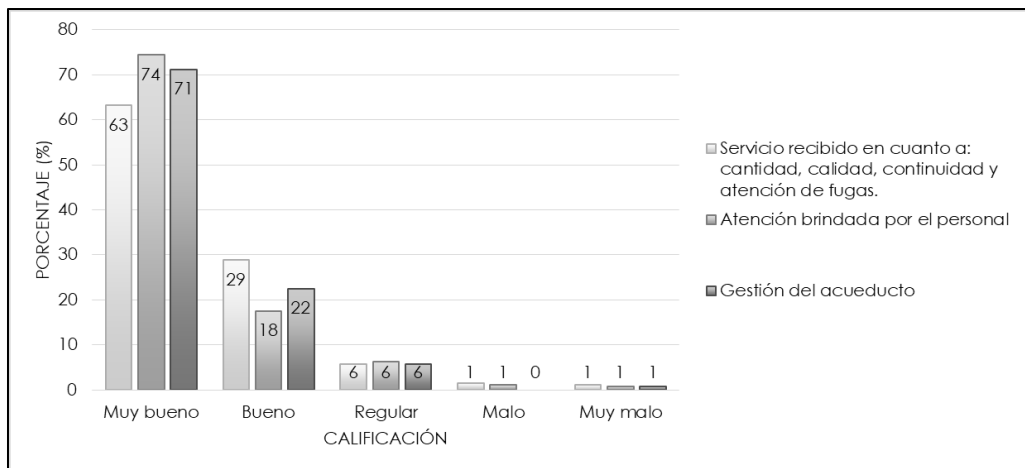
En la Figura 5.22, se muestra la percepción que tiene la población sobre cuál es el principal problema ambiental que afecta a su comunidad. Los encuestados de los barrios Paquera Centro, Paquera y Salinas fueron las que más se refirieron al problema de las inundaciones. Efectivamente Paquera es una zona identificada por la CNE como un barrio de alto riesgo por las inundaciones y flujo de lodos; los ríos Pánica, Guarial, Paquera y Grande, son los causantes de las amenazas hidrometeorológicas, pero también estos problemas se ven afectados por la ocupación de planicies, el desarrollo agropecuario y urbano en forma desordenada (CNE, n.d.). Sin embargo, es importante mencionar que debido a la emergencia que se vivió durante octubre del 2018, muchas de las respuestas pueden estar influenciadas por ese evento en específico.





**Figura 5.22. Percepción del principal problema ambiental**

Por otra parte, se obtuvo que el 89,9% conoce que el agua potable que consume es suministrada por la ASADA Paquera, además se consultó sobre la percepción que tiene la población sobre el servicio y la gestión que realiza el acueducto. Se obtiene que, según la Figura 5.23, los abonados se encuentran satisfechos con el servicio recibido en cuanto a cantidad, calidad, continuidad del agua y atención de fugas que se brinda, así como del servicio de atención al cliente, y consideran muy buena la gestión del acueducto, mientras que el 1% manifestó que los servicios brindados son considerados muy malos, por lo que la insatisfacción en los pobladores es mínima.



**Figura 5.23. Nivel de satisfacción con respecto a servicios brindados por la ASADA**

Cuando se preguntó por la satisfacción con respecto del servicio recibido en cuanto a cantidad, calidad y continuidad, algunos miembros de la comunidad manifestaron la inquietud sobre la calidad del agua; ya que mencionan que, en las tuberías, accesorios del baños y cafetera se producen incrustaciones y relacionan dicho problema con casos de vecinos que presentan piedras en los riñones y/o vesícula.

Esta característica de formación de precipitados e incrustaciones tiene relación con la dureza de las aguas ya que éstas presentan cationes polivalentes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Al}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ , etc); sin embargo, no se ha demostrado que haya una correlación entre las aguas con altos contenidos de dureza y daños al organismo, si no que los problemas asociados son en equipo doméstico e industrial (Mora, 2011).

Finalmente se consultó sobre la participación activa en asociaciones comunales y solamente el 18,2% afirmó que por lo menos un miembro del hogar participa en alguna asociación. Este resultado refleja una baja participación comunitaria, además reafirma el comportamiento arrojado en el FU, en el que menos del 50% de los socios participa en las asambleas realizadas por la ASADA.

#### 5.4 ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA

Debido a la identificación de alto riesgo en los tres sistemas de cloración de la ASADA Paquera véase Cuadro 5.1, se determinó realizar análisis de Nivel Primero (N1) en la red de distribución, con el fin de evaluar si los valores de los parámetros N1 cumplen el Reglamento de Calidad de Agua Potable y observar el comportamiento de cloro residual en la red.

Según se observa en el Cuadro 5.6, los valores para Coliformes fecales y *E. coli* son  $<2,2$  NMP/100 ml, dicha expresión indica que no existen coliformes en las muestras analizadas, por lo tanto se considera con coliformes igual a cero y microbiológicamente potable según el Decreto Ejecutivo 38924-S (Poder Ejecutivo, 2015b) . Por otra parte, se puede observar que los valores promedios de cloro residual libre, están por encima del valor máximo admisible (Poder Ejecutivo, 2015b). Para el sistema Cuchillo, el promedio fue de  $(1,45 \pm 0,04)$  mg/l,

mientras que para el Sistema Paquera, fue de  $(0,72\pm 0,29)$  mg/l, para este caso 3 de los 4 puntos muestreados se encontraron en el ámbito permitido véase Apéndice 8: Análisis Nivel Primero (N1), sin embargo el punto más cercano luego de la cloración, no cumple en reglamento, presentando un valor de 1,15 mg/l.

Esta diferencia de valores entre el primer punto de muestreo después del sistema de cloración y las demás muestras, podría deberse a un tiempo insuficiente de contacto entre el cloro y el agua en el tanque de almacenamiento; como lo recomienda el Reglamento de Calidad de Agua Potable este tiempo de contacto es mínimo de 20 minutos (Poder Ejecutivo, 2015b), por lo tanto, una incorrecta desinfección podría provocar una concentración elevada de cloro libre a la salida del tanque.

Por otra parte, para el sistema Paquera y Cuchillo el valor promedio de cloro residual combinado fue de  $(0,05\pm 0,05)$  mg/l y  $(0,01\pm 0,01)$  mg/l respectivamente, estando por debajo del valor recomendado de 1,0 mg/l. El cloro libre tiene un poder desinfectante mayor, pero, el cloro combinado, presenta mayor estabilidad y por tanto, menor volatilidad (López, 2001). De acuerdo a la Reforma Reglamento de Calidad de Agua Decreto Ejecutivo N° 41499-S (Poder Ejecutivo, 2019), los valores de cloro combinado deben cumplir en caso que “*el residual del cloro se encuentre en forma combinada o se esté dosificando cloro en la forma de cloramina (cloro-amoniaco)*” (Poder Ejecutivo, 2019) por lo tanto, debido a que los valores de las muestras son tan pequeños y que la ASADA Paquera no desinfecta mediante cloraminación, este residual de cloro no se toma en consideración.

**Cuadro 5.6. Análisis microbiológicos y medición de cloro residual del nivel primero (N1) tomados en la red de distribución del sistema Paquera y Cuchillo**

Parámetros	Sistema Paquera		Sistema Cuchillo		Valor de Alerta (VA)	Valor máximo admisible (VMA)
	Nº veces	Valor Promedio	Nº veces	Valor Promedio		
Coliforme fecal (NMP/100 ml)	3	<2,2	3	<2,2	No detectable (c)	No detectable (c)
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	3	<2,2	3	<2,2	No detectable (c)	No detectable (c)
Cloro residual libre (mg/l) (a)	4	0,72	3	1,45	0,3	0,6 (d,e)

Continuación cuadro 5.6

Parámetros	Sistema Paquera		Sistema Cuchillo		Valor de Alerta (VA)	Valor máximo admisible (VMA)
	Nº veces	Valor Promedio	Nº veces	Valor Promedio		
Cloro residual combinado (mg/l) (a,b)	4	0,05	3	0,01	1,0	1,8

(a) Para los parámetros cloro residual libre y cloro residual combinado, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA.  
 (b) 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).

(c) No detectable (N.D.): de acuerdo al límite de detección del Método.

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

(e) 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”. Adaptado de (Poder Ejecutivo, 2019)

Respecto de los resultados físico-químicos, en el Cuadro 5.7 se observa que color aparente, turbiedad, olor, y pH, están dentro del ámbito permitido, sin embargo la temperatura para el sistema Cuchillo, sobrepasa el valor máximo admisible. Según la Organización Mundial de la Salud (2006) el agua tibia tiene un sabor menos agradable que la fría, además puede aumentar problemas de olor, color y corrosión, así mismo puede desarrollar la proliferación de microorganismos. La temperatura y las concentraciones de nutrientes en las líneas de distribución, generalmente no son tan altas como para colaborar en la proliferación de *E. coli* u otras bacterias entéricas patógenas. Sin embargo, otras bacterias como las del género *Legionella* (cuyo intervalo de proliferación es de 25 a 50 °C) *V. cholerae*, *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* pueden proliferar en esas condiciones (Organización Mundial de la Salud, 2006), esta es una razón más, para mantener las concentraciones adecuadas de cloro residual en la red de distribución.

Por su parte los valores de conductividad para el sistema Cuchillo están por debajo del valor alerta, no es el caso para tres de los cuatro puntos de muestreo del sistema Paquera, los cuales están por encima de este valor. Según Solís-Castro, Zúñiga-Zúñiga, y Mora-Alvarado (2017), algunos iones y la dureza del agua generan la conductividad, sin embargo en la mayoría de las aguas subterráneas existe una relación muy fuerte entre la conductividad y la dureza. Concentraciones de dureza por encima de 200 mg/l provoca incrustaciones, estas al calentarse forman precipitados de carbonado cálcico, además de afectar la aceptabilidad del sabor por parte del consumidor (Organización Mundial de la Salud, 2006).

**Cuadro 5.7. Análisis físico-químicos del nivel primero (N1) tomados en la red de distribución del sistema Paquera y Cuchillo**

Parámetros	Sistema Paquera		Sistema Cuchillo		Valor de Alerta (VA)	Valor máximo admisible (VMA)
	N° veces	Valor Promedio	N° veces	Valor Promedio		
Color aparente (U-Pt-Co)	4	4	3	2	< 5	15 (b)
Turbiedad (UNT)	4	0,59	3	0,22	1	5
Olor	4	aceptable	3	aceptable	aceptable	aceptable
Temperatura (°C) (a)	4	29,3	3	33,1	18	30
pH (a)	4	7,02	3	7,27	6,0	8,0
Conductividad (µS/cm)	4	386,7	3	263,0	400	---

(a) Para los parámetros de pH, temperatura, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA.

(b) No detectable (N.D.): de acuerdo al límite de detección del Método. Adaptado de (Poder Ejecutivo, 2019)

Según reportes brindados por la ASADA Paquera de resultados realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas para análisis de nivel segundo (N2) y nivel tercero (N3) para la Naciente El Tigre y los pozos: Laberinto, Cuchillo y Paquera y se pueden encontrar en el Anexo 2: Reportes de Análisis de Calidad de Agua, la mayoría de los parámetros están por debajo del Valor de Alerta (VA) o del Valor Máximo Admisible (VMA) según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto Ejecutivo N°38924-S (Poder Ejecutivo, 2015b) y la Reforma Reglamento de Calidad de Agua Decreto Ejecutivo N° 41499-S (Poder Ejecutivo, 2019).

La conductividad al igual que los resultados de las muestras tomadas durante la investigación, están por encima del VA de 400 µS/cm (Poder Ejecutivo, 2015b), los valores de los informes son: 490, 377, 436 y 493 µS/cm para Cuchillo, El Tigre, Paquera y Laberinto respectivamente. Siguiendo este mismo orden, los valores de dureza total (CaCO<sub>3</sub>) respectivamente fueron de 205, 176, 199, 179 mg/l. Estos valores están por debajo del valor alerta que está establecido en Costa Rica en el que se considera un VA de 300 mg/l y un VMA de 400 mg/l (Poder Ejecutivo, 2015b). Según Sancho-Vargas (2019) la clasificación de dureza en agua potable a nivel internacional va desde aguas blandas a aguas muy duras Cuadro 5.8 y según esa clasificación las aguas de las distintas fuentes de abastecimiento de la ASADA Paquera exceptuando pozo Cuchillo son moderadamente duras mientras que el agua del pozo Cuchillo se clasifica como dura.

Por lo tanto, esta información confirma que la formación de incrustaciones que presentan las tuberías, accesorios y cafeteras según lo mencionado por los vecinos, es producto de la dureza del agua que presentan las fuentes de abastecimiento.

**Cuadro 5.8. Clasificación de la dureza en agua para consumo humano.**

Clasificación	mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Blanda	0-50
Moderadamente blanda	51-100
Ligeramente dura	101-150
Moderadamente dura	151-200
Dura	201-300
Muy dura	>300

Fuente (Sancho-Vargas, 2019)

Un parámetro que está por encima del Valor Alerta es el sodio, cuyo VA es de 25 mg/l (Poder Ejecutivo, 2015b), el pozo Paquera tiene el valor más alto con 33,8 mg/L, seguido del pozo Laberinto con 25,8 mg/l. El pozo Cuchillo y la naciente El Tigre están por debajo del VA con 24,0 mg/l y 18,3 mg/l respectivamente. Según la Organización Mundial de la Salud las concentraciones usuales de sodio en agua potable están por debajo de 20 mg/l, en algunos países puede sobrepasar este valor. No existe un valor asociado a efectos del sodio sobre problemas de salud como la hipertensión, sin embargo en valores superiores a 200 mg/l presenta un sabor no aceptable (Organización Mundial de la Salud, 2006).

## 5.5 DEMANDA DE CLORO

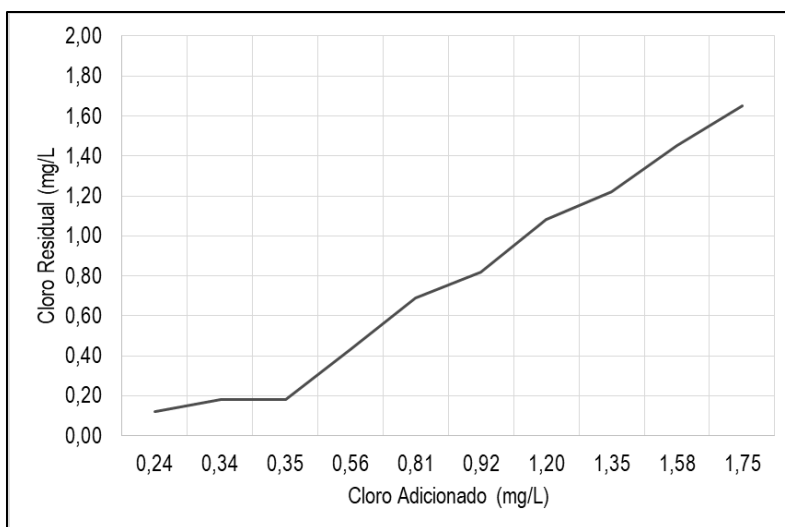
Producto de la identificación de riesgo alto en los tres sistemas de cloración en operación y además del incumplimiento de los valores de cloro residual libre en las muestras de agua, se realizaron cuatro demandas de cloro, incluyendo el Pozo Paquera, el cual aún no se encuentra en funcionamiento. Para la prueba se utilizaron concentraciones de hipoclorito de sodio que van desde 0,24 mg/l a 3,70 mg/l y los resultados se pueden observar en el Apéndice 9: Resultados Análisis Demanda de Cloro. A continuación, se presentan las curvas de demanda de cloro generadas con la información obtenida en el laboratorio, de acuerdo a las características del agua de las distintas fuentes de abastecimiento de la ASADA Paquera.

Una curva de demanda de cloro ideal tiene un comportamiento en el cual según Iburguen & Bernal (2008) inicialmente el cloro empieza oxidando los agentes reductores, posteriormente

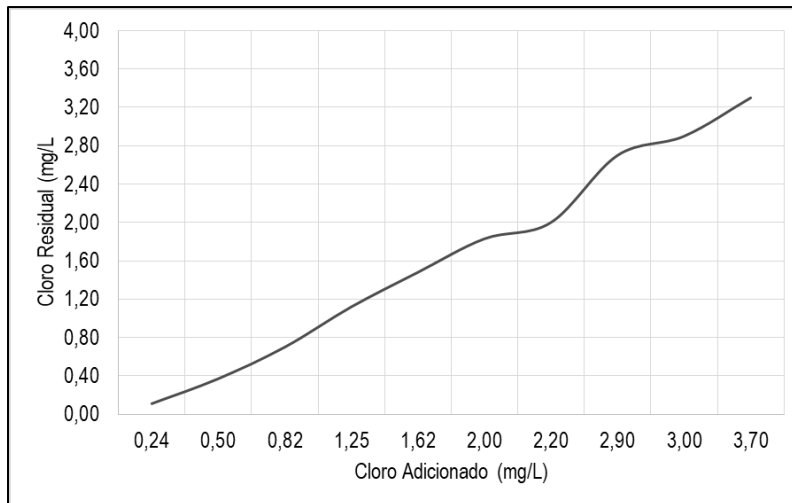
reacciona con el amoniaco y las aminas orgánicas, produciendo cloro combinado residual, por lo que se observa un incremento y posteriormente una disminución, donde se da un punto de quiebre, para finalmente volver a incrementar.

Las curvas de demanda de cloro de las aguas crudas de la ASADA Paquera no presentan el comportamiento ideal descrito anteriormente, esto puede deberse a que posiblemente estas aguas presentan pocas sustancias que se pueden oxidar y por lo tanto no ejercen demanda de cloro o esta es muy baja, para estos casos, el rendimiento de cloro como desinfectante es máxima, por lo que la cloración residual libre es alcanzada con rapidez (Weber, 1979).

En la Figura 5.24 y Figura 5.25 se puede obtener la curva de demanda de cloro para las aguas de la Naciente El Tigre y para el Pozo Laberinto. A partir de esta gráfica se determinó que la dosis óptima de hipoclorito de sodio para conseguir un cloro residual libre de 0,6 mg/l después de realizada la demanda de cloro, es de 0,72 mg/l para ambas fuentes.

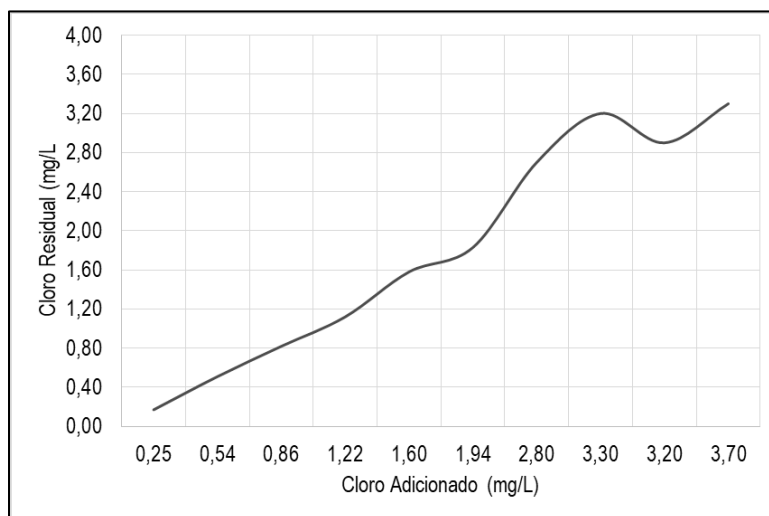


**Figura 5.24. Curva de demanda de cloro en agua cruda de la naciente El Tigre de la ASADA Paquera**



**Figura 5.25. Curva de demanda de cloro en agua cruda del Pozo Laberinto de la ASADA Paquera**

Estos valores infieren que, estas aguas tienen bajas concentraciones de compuestos reductores, principalmente de hierro, manganeso y materia orgánica, además de amonio y aminas (Trapote, 2014). Mismo comportamiento presentan las aguas crudas del Pozo Paquera Figura 5.26 y Pozo Cuchillo Figura 5.27, las dosis requeridas respectivamente de hipoclorito de sodio son de 0,63 mg/l y 0,66 mg/l.



**Figura 5.26 Curva de demanda de cloro en agua cruda del Pozo Paquera de la ASADA Paquera**



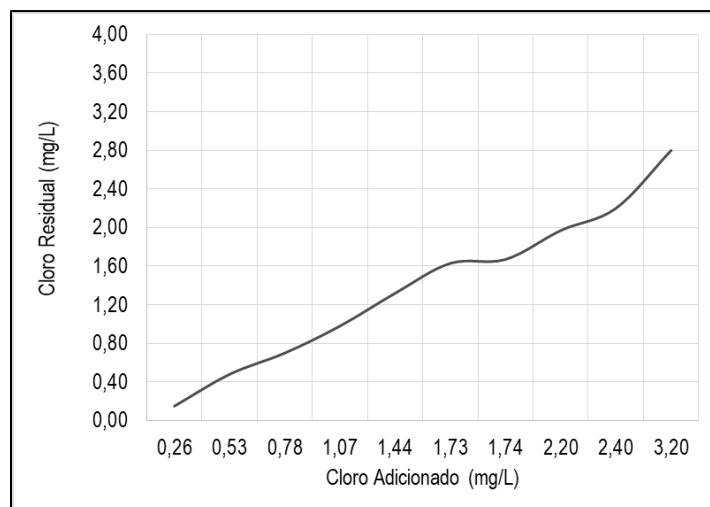


Figura 5.27 Curva de demanda de cloro en agua cruda del Pozo Cuchillo de la ASADA Paquera

El Cuadro 5.9 muestra un resumen de los resultados que se encuentran en el Anexo 2: Reportes de Análisis de Calidad de Agua. En este se puede ver que, efectivamente, las aguas de las distintas fuentes de abastecimiento presentan bajas concentraciones en compuestos reductores, para muchos casos el compuesto no fue detectado bajo el límite de detección y en los casos en los que si se cuantificó, están muy por debajo del valor máximo admisible que dicta el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Poder Ejecutivo, 2015b). Por lo que esta característica facilita la obtención de cloro residual libre de manera rápida.

**Cuadro 5.9. Reporte de análisis del Laboratorio Nacional de Aguas de las fuentes de abastecimiento de la ASADA Paquera**

Parámetro	Pozo Cuchillo	Naciente El Tigre	Pozo Laberinto	Pozo Paquera	Valor de alerta	Valor Máximo Admisible	Unidades
Amonio	N. D	NR	D	N. D	0,05	0,5	mg/l
Hierro	4,9	4,8	3,0	53,6	NA	300	µg/l
Manganeso	N. D	N. D	N. D	7,3	100	500	µg/l
Nitritos	N. D	N. D	N. D	N. D	NA	0,1	mg/l

ND No detectable bajo límite de detección

D Detectable pero no cuantificable

NR no está reportado el dato

NA No aplica

## 5.6 FUENTE SUPERFICIAL

Como resultado de la evaluación de la ficha SERSA y el resultado de riesgo alto en la fuente superficial, se optó por realizar un análisis al agua y a la estructura, ya que como se mencionó

en el apartado 5.1.1.4, el acueducto está habilitando un filtro, sin embargo, no se ha realizado una caracterización físico-química del agua superficial a tratar. Por esta razón se realizaron análisis de turbiedad, coliformes fecales y color, ya que son estos los que orientan para la selección de la opción FiME (OPS & CEPIS, 2005). A continuación, en el Cuadro 5.10, se presentan los resultados obtenidos en el muestreo realizado el 6 de mayo del 2019, bajo condiciones en época de verano.

**Cuadro 5.10. Análisis físico-químicos y microbiológicos en agua superficial**

Muestra N°	Color aparente (Pt-Co)	Turbiedad (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100ml)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)
1	5	0,2	11	8
2	5	0,8	23	23
3	0	0,1	30	17

En el Cuadro 5.10, se observa que el agua presenta bajos niveles de turbiedad, color, coliformes fecales y *E coli*. Para la selección de las opciones FiME, el agua cruda se puede clasificar en tres ámbitos de calidad de agua superficial Cuadro 5.11, de acuerdo a los resultados obtenidos Cuadro 5.10, la fuente superficial del Río Guarial está en el Ámbito Bajo.

**Cuadro 5.11. Ámbitos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FiME.**

ÁMBITO	Nivel Promedio
Bajo	Turbiedad <10 UNT
	Coliformes fecales 500 <UFC/100 ml
	Color Real <20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10-20 UNT
	Coliformes fecales 500-10000 UFC/100 ml
	Color Real 20-30 UPC
Alto	Turbiedad 20-70 UNT
	Coliformes fecales 10000-20000UFC/100 ml
	Color Real 30-40 UPC

Fuente (OPS & CEPIS, 2005)

Según el ámbito de calidad Bajo, para estas características, el sistema de tratamiento de agua por filtración de múltiples etapas (FiME), debe incluir las unidades de Filtro Grueso Dinámico (FGDi) y Filtro Lento de Arena (FLA) (OPS & CEPIS, 2005).

Es necesario aclarar que se debe tomar en cuenta toda la información posible sobre la fuente como: *“caudales, variaciones por estación, niveles máximos y mínimos, calidad de agua cruda, por lo menos en los tres últimos años”* (OPS & CEPIS, 2005), para poder determinar el comportamiento de la fuente. Sin embargo, es importante mencionar que este análisis se está realizando con base en un único muestreo realizado en época de verano, ya que por razones de tiempo del estudio y costos no se pueden realizar más muestreos ni análisis de otros parámetros.

## 5.7 ANÁLISIS OFERTA Y DEMANDA

### 5.7.1 Oferta del recurso hídrico

El acueducto brinda dos reportes de aforos, el primero, ellos lo llaman caudal explotado y lo definen como el caudal que ingresa a los tanques de almacenamiento. Para el pozo Cuchillo es de: 5,50 l/s y 1,85 l/s para el pozo Laberinto (R., Arias comunicación personal, 26, agosto, 2019). Además, brindan un reporte mensual desde enero del 2017 a abril del 2019 de aforos a las salidas de los pozos y de la naciente El Tigre, cuya información se muestra en la Figura 5.28 y Cuadro 5.12, los datos completos de aforos se puede encontrar en el Anexo 3.

En la Figura 5.28 se puede observar el comportamiento que presentan las 3 fuentes de abastecimiento durante enero del 2017 a abril del 2019. El Pozo Cuchillo y el Pozo Laberinto se mantienen constantes a lo largo de los meses, siendo Laberinto el que posee una estabilidad mayor ya que su desviación estándar es de 0,08 y 0,13 para Cuchillo Cuadro 5.12. Caso contrario ocurre con los caudales reportados de la Naciente El Tigre, en donde hay una variabilidad en el comportamiento del caudal, se observa que los caudales aumentan desde agosto a enero, teniendo el pico más alto en noviembre 2017 con 13,5 l/s y diciembre 2018 con 13,3 l/s, y decae durante enero a julio; siendo abril, mayo y junio los meses más críticos.

Este aumento y disminución de caudales está ligado a la precipitación; según información estadística de precipitación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de la Región Pacífico Norte, el periodo seco va de diciembre a marzo y solo precipita un 4% de la lluvia anual, época en la que los caudales de la naciente decaen Figura 5.28, mientras que durante mayo y agosto ocurre el 50% de la precipitación anual teniendo en junio un máximo de lluvias, y un segundo periodo lluvioso desde setiembre hasta noviembre y es donde cae el 46% de la lluvia anual (IMN, *n.d.*); es en estas fechas, cuando ocurre un aumento en los caudales de la Naciente El Tigre Figura 5.28.

Otro comportamiento interesante es que el promedio anual ha aumentado desde el 2017 hasta abril del 2019 Cuadro 5.12, pasando de 9,57 l/s a 10,42 l/s y por último 10,58 l/s. Esto es importante mencionar ya que puede ser un indicativo que, a pesar de no tener áreas de protección definidas, se realiza una conservación que propicia una estabilidad en los caudales, o hubo una variante en la técnica de aforo.

Es importante mencionar, que hay una diferencia de caudales aforados a la salida de los pozos y a la entrada de los tanques de almacenamiento, y estos valores no son posibles, ya que según la ecuación de continuidad, la cual se basa en el principio de conservación de la masa, indica que la cantidad de fluido que circula a través de una sección, es constante en un determinado tiempo (Mott, 2006). Por lo que se estaría ante una fuga de agua, para el caso de Cuchillo de aproximadamente 3,35 l/s y para el pozo Laberinto de 1,93 l/s, o en su defecto, la técnica de aforo sería incorrecta.

Dada la diferencia entre los reportes de aforos a la salida del pozo y a la entrada del tanque de almacenamiento, se decide tomar para el caso de los pozos, el caudal medido a la entrada del tanque de almacenamiento y para la naciente El Tigre el promedio del reporte desde enero 2017 a abril 2019, por lo que la oferta de agua de la ASADA Paquera es de: 10,06 l/s para la Naciente El Tigre, 5,5 l/s para el pozo Cuchillo, 1,85 l/s Laberinto y para el Pozo Paquera se tiene el reporte de un dato, el cual es de 5,26 l/s, en total 22,67 l/s.

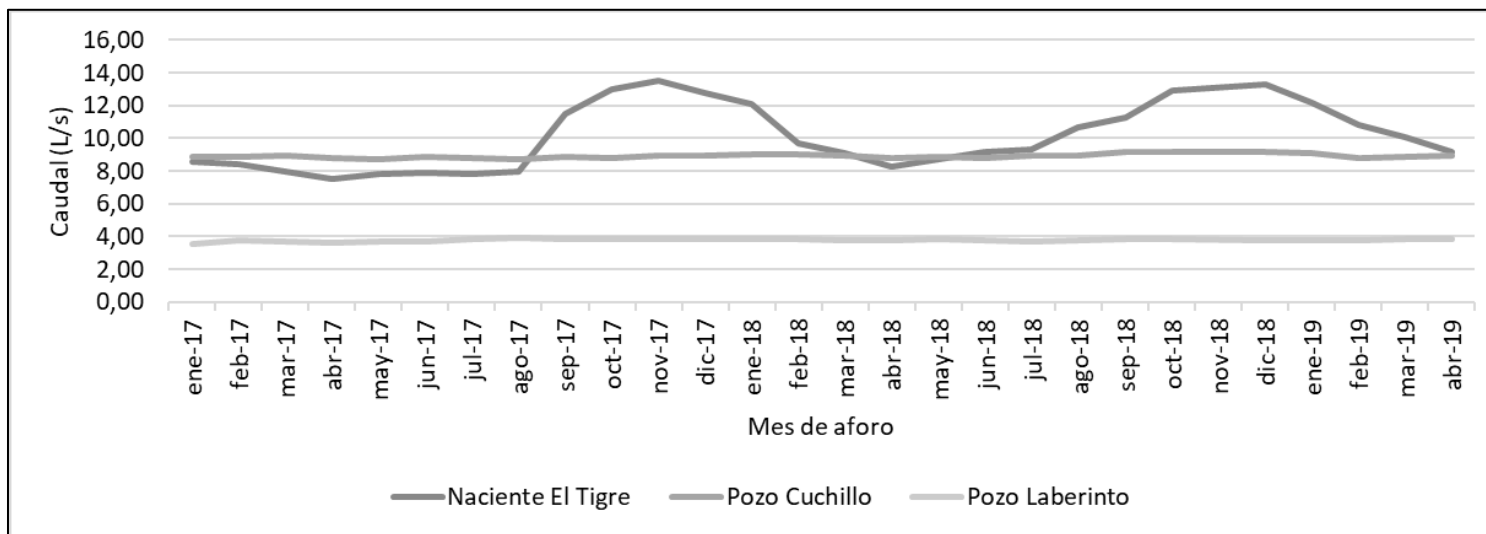


Figura 5.28. Comportamiento del caudal aforado de la Naciente El Tigre, Pozo Cuchillo y Pozo Laberinto durante enero del 2017 a abril 2019

Cuadro 5.12. Variables estadísticas para el caudal aforado de la Naciente El Tigre, Pozo Cuchillo y Pozo Laberinto durante enero del 2017 a abril 2019

Variables estadísticas	Naciente El Tigre (l/s)				Pozo Cuchillo (l/s)				Pozo Laberinto (l/s)			
	2017	2018	2019	Total	2017	2018	2019	Total	2017	2018	2019	Total
Media	9,57	10,42	10,58	10,06	8,85	8,98	8,94	8,92	3,76	3,79	3,80	3,78
Desviación estándar	2,37	1,75	1,27	1,99	0,08	0,12	0,10	0,13	0,12	0,04	0,02	0,08
Mediana	8,23	9,70	10,45	9,30	8,90	8,98	8,93	8,90	3,81	3,79	3,80	3,80
Moda	8,00	NA	NA	8,00	8,90	NA	NA	8,90	3,72	3,83	NA	3,82
Varianza	5,16	2,78	1,20	3,80	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Nivel de confianza (95,0%)	1,34	1,03	1,24	0,75	0,05	0,07	0,10	0,05	0,07	0,02	0,02	0,03
Intervalo inferior	8,22	9,38	9,33	9,30	8,80	8,92	8,83	8,87	3,70	3,76	3,78	3,75
Intervalo superior	10,91	11,45	11,82	10,83	8,90	9,05	9,04	8,97	3,83	3,81	3,82	3,81

## 5.7.2 Demanda actual del recurso hídrico

Según información suministrada por el acueducto, en enero del 2019, la ASADA tenía 80 abonados inactivos y 1043 abonados activos, la clasificación por categoría es: 900 domiciliar, 19 preferencial, 111 empresarial y 13 gobierno; siendo las conexiones domiciliarias el 86,3%. Debido a que no se cuenta con registros del consumo para la categoría domiciliar, preferencial, empresarial y gobierno, para la presente investigación se tomara en cuenta que el 100% de las conexiones son domiciliarias.

El consumo de agua varía según el sector o comunidad, en la Figura 5.29 se observa que Paquera Centro es el sector que consume la mayor cantidad del líquido, así también es el sector que tiene la mayor cantidad de abonados, al ser Paquera el centro poblacional tiene un total de 345 abonados, al finalizar el 2018. También se observa que su consumo ha disminuido desde el 2016 al 2018.

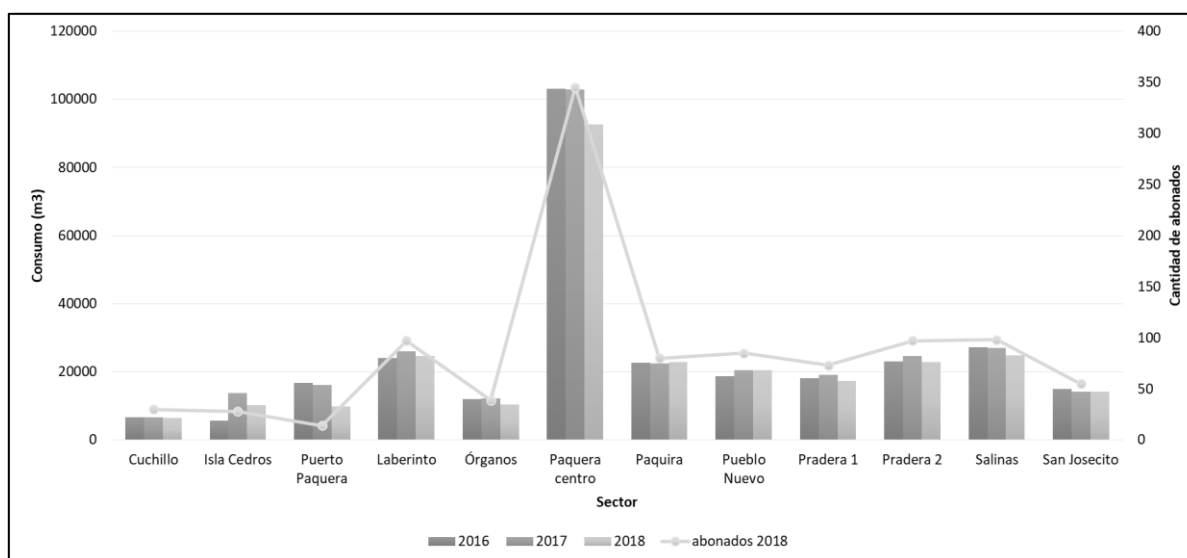


Figura 5.29. Consumo por sector durante el año 2016, 2017 y 2018

Cuchillo es la comunidad que consume la menor cantidad de agua, comparado con los otros sectores, además el consumo se mantiene casi constante, pero también es la tercera comunidad con el menor número de abonados, 30 conexiones. Isla Cedros, otro de los 3 sectores abastecidos por el sistema Cuchillo, presenta un aumento en el consumo de 2,4 veces

del 2016 al 2017, sin embargo, el número de abonados se mantuvo igual, para el 2018 presentó una disminución. Desde Isla Cedros se abastece agua a Isla Jesusita o Isla Chiquita como algunos la conocen, en esta Isla se encuentra un hotel, por lo que estos aumentos podrían deberse al desarrollo turístico en la zona.

El Cuadro 5.13 presenta las dotaciones promedio de los 3 años de estudio, (se pueden encontrar variables estadísticas para la dotación en el Apéndice 10: Análisis Oferta y Demanda Cuadro A.10.1), estas varían según la comunidad o sector, el consumo por persona por día menor lo presenta Cuchillo con un valor 189 L/p/d, mientras que la más alta se da en Puerto Paquera 856 L/p/d. Este último sector tiene 14 abonados, sin embargo ahí se encuentra el atracadero del ferry Paquera- Puntarenas y anualmente por las instalaciones de la Naviera Tambor transitan 1,1 millones de personas (K. Madrigal, 2017), por lo que esa dotación se ve influenciada por el tránsito anual de personas y turistas en el área.

**Cuadro 5.13. Promedios de dotación obtenidos a partir de los registros de consumo y abonados mensuales durante 2016, 2017 y 2018**

Sector	Consumo m <sup>3</sup> /mes	Abonados activos	habitantes	Dotación (L/p/d)
Cuchillo	546	29	96	188,84
Isla Cedros	829	25	84	330,65
Puerto Paquera	1187	14	46	856,18
Laberinto	2074	97	320	215,98
Órganos	957	36	119	270,17
Paquera centro	8294	333	1099	251,99
Paquirá	1891	79	261	241,25
Pueblo Nuevo	1653	82	271	203,07
Pradera 1	1517	73	241	209,93
Pradera 2	1961	97	319	204,99
Salinas	2199	96	318	230,35
San Josecito	1203	51	169	237,88

Paquera se encuentra en el extremo sur de la península de Nicoya y se ubica en zona costera. Según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados la dotación para poblaciones costeras es de 375 L/p/d (ICAA, 2017). Por lo tanto, once de los doce sectores abastecidos por la ASADA Paquera están por debajo de la dotación utilizada por el ICAA para el diseño de sistemas de abastecimiento.

El Cuadro 5.14 muestra tres escenarios. El primero es tomando en cuenta el sistema Cuchillo (Sectores: Cuchillo, Puerto Paquera e Isla Cedros), el segundo tomando el sistema Paquera y Laberinto como uno solo, abasteciendo de esta forma a los nueve sectores restantes. Para el sistema Cuchillo la dotación sería de 378, 26 L/p/d y para el Sistema Paquera y Laberinto 227,24 L/p/d. Por último, si se toman todos los sectores como un sistema integral la dotación sería de (237,43 ± 10,59) L/p/d.

**Cuadro 5.14. Variables estadísticas utilizadas para obtener la dotación por sistema para la ASADA Paquera**

Sistema	Parámetro	Media	DE	Mediana	Moda	Varianza	Nivel de confianza (95,0%)	Intervalo Inferior	Intervalo Superior
Cuchillo	Consumo m <sup>3</sup>	2575,68	680,92	2375,00	NA	543572,00	222,43	2353,25	2798,11
	abonados	69	2	68	68	3	1	68	70
	Habitantes	228	6	224	224	29	2	226	230
	Dotación L/p/d	378,26	103,62	339,55	NA	12625,18	33,85	344,41	412,11
Paquera y Laberinto	Consumo m <sup>3</sup>	21361,54	2706,19	21936,50	NA	7161664,32	884,01	20477,53	22245,54
	abonados	950	14	947	946	126	5	945	954
	Habitantes	3135	47	3125	3122	1369	15	3119	3150
	Dotación L/p/d	227,24	30,08	232,24	NA	832,17	9,83	217,41	237,07
Total	Consumo m <sup>3</sup>	23937,21	3124,60	24551,50	NA	9961294,67	1020,68	22916,53	24957,90
	Abonados	1019	16	1015	1014	159	5	1014	1024
	Habitantes	3362	51	3350	3346	1733	17	3346	3379
	Dotación L/p/d	237,43	32,43	239,75	NA	1023,50	10,59	226,84	248,03



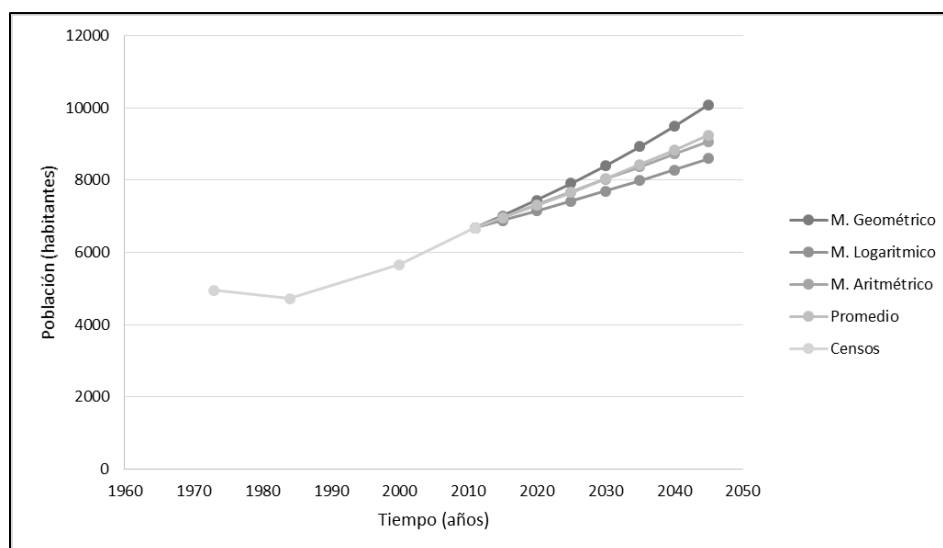
### 5.7.3 Demanda futura del recurso hídrico

A partir de la información de los censos de población de los últimos años para el distrito Paquera de Puntarenas, se proyectó la población. En el Cuadro 5.15 se observan los resultados de las tasas de crecimiento según el método utilizado, así como los resultados de la población proyectada.

**Cuadro 5.15. Tasas de crecimiento y poblaciones proyectadas para la población del distrito de Paquera**

Método	Año	Tasa de crecimiento	Población proyectada					
			2020	2025	2030	2035	2040	2045
Geométrico (R)								
Geométrico	2011-1973	0,008	7180	7471	7773	8087	8414	8754
	2011-1984	0,013	7505	8003	8534	9099	9703	10346
	2011-2000	0,015	7656	8254	8899	9594	10344	11152
	Promedio	NA	7447	7909	8402	8927	9487	10084
Logarítmico (K <sub>G</sub> )								
Logarítmico	1984-1973	-0,004	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	2002-1984	0,011	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	2011-2002	0,015	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Promedio	0,007	7147	7417	7697	7988	8289	8602
Lineal (K <sub>a</sub> )								
Lineal o aritmético	2011-1973	45,763	7098	7327	7556	7784	8013	8242
	2011-1984	72,556	7339	7702	8065	8427	8790	9153
	2011-2000	92,727	7521	7984	8448	8911	9375	9839
	Promedio	NA	7319	7671	8023	8374	8726	9078

La Figura 5.30 muestra el comportamiento de los tres métodos utilizados, para todos los casos, la población tiende a crecer, es el método geométrico el que presenta un aumento mayor en la población, pasando de 6686 en el Censo del 2011 a 10 084 para el año 2045.



**Figura 5.30. Poblaciones proyectadas del distrito Paquera a partir de los diferentes métodos**

El acueducto a diciembre del 2018 tenía 1041 abonados activos, lo que quiere decir que aproximadamente en ese año abasteció a 3435 habitantes. Según el Cuadro 5.16 la población proyectada del distrito para el 2018 es de 7164 habitantes. Siendo así, la ASADA Paquera abastece agua a aproximadamente el 47,95% de la población de dicho distrito, de ese porcentaje, el 6,92% corresponde al Sistema Cuchillo y el 93,08% a Paquera y Laberinto. Por lo tanto, tomando los resultados de la proyección del Distrito Paquera, en el Cuadro 5.16 se puede obtener proporcionalmente la proyección de la población abastecida por la ASADA Paquera, en el Apéndice 10: Análisis Oferta y Demanda, Cuadro A.10.2 se puede encontrar la información, para el sistema integrado, desglosado por año.

**Cuadro 5.16. Proyección de la población del distrito Paquera y de la población abastecida por cada sistema de la ASADA**

Año	Distrito Paquera	Población por sistema		
		Integrado	Cuchillo	Laberinto y Paquera
2018	7164	3435	238	3197
2019	7234	3469	240	3229
2020	7304	3503	242	3260
2025	7666	3676	254	3422
2030	8041	3855	267	3589
2035	8430	4042	280	3763
2040	8834	4236	293	3943
2045	9255	4438	307	4131

Según las poblaciones proyectadas, en el año 2019 la población abastecida por el acueducto es de 3469 personas, mientras que para dentro de 25 años la población aumentaría en 969 personas, esto es equivalente a 293 previstas más para el 2045.

En el Cuadro 5.17 se muestra los caudales de diseño para el sistema integrado, el sistema Cuchillo y el sistema Paquera junto con Laberinto, utilizando las dotaciones de 237,43 L/p/d 378,26 L/p/d y 227,24 L/p/d respectivamente (ver Cuadro 5.14). Y a manera de comparación, se brindan los caudales de diseño utilizando la dotación recomendada por ICAA para poblaciones costeras, 375 l/p/d, este caso se da cuando no se tienen los datos reales de consumos o demandas en la comunidad de estudio (ICAA, 2017).

**Cuadro 5.17. Estimación del Caudal máximo diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario para diferentes dotaciones**

Dotación utilizada	Año proyectado	Sistema Integrado			Sistema Cuchillo			Sistema Paquera y Laberinto		
		Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
Calculada con registros	2020	9,63	11,55	20,79	1,06	1,27	2,29	8,57	10,29	18,52
	2025	10,10	12,12	21,82	1,11	1,34	2,40	9,00	10,80	19,44
	2030	10,60	12,71	22,89	1,17	1,40	2,52	9,44	11,33	20,39
	2035	11,11	13,33	23,99	1,22	1,47	2,64	9,90	11,88	21,38
	2040	11,64	13,97	25,14	1,28	1,54	2,77	10,37	12,44	22,40
	2045	12,20	14,63	26,34	1,34	1,61	2,90	10,86	13,04	23,47
Recomendada ICAA	2020	15,20	18,24	32,84	1,05	1,26	2,27	14,15	16,98	30,57
	2025	15,95	19,14	34,46	1,10	1,32	2,38	14,85	17,82	32,08
	2030	16,73	20,08	36,15	1,16	1,39	2,50	15,58	18,69	33,65
	2035	17,54	21,05	37,89	1,21	1,46	2,62	16,33	19,60	35,27
	2040	18,39	22,06	39,71	1,27	1,53	2,75	17,11	20,54	36,97
	2045	19,26	23,11	41,60	1,33	1,60	2,88	17,93	21,51	38,73

Se observa que el caudal medio diario (Qmd) que requiere la ASADA Paquera para el 2045 es de 12,20 l/s, mucho menor que el estimado según la recomendación del ICAA, ya que según esta entidad para el mismo año el acueducto estaría requiriendo de 7,06 l/s más. Esto quiere decir que las comunidades abastecidas realizan un consumo de aproximadamente 137,57 l/p menos cada día (ver Cuadro 5.14). Sin embargo, este comportamiento no sucede

con el sistema Cuchillo, en donde se observa que el caudal medio diario es ligeramente superior al estimado empleando la dotación que utiliza el Instituto, por lo que actualmente este sistema está consumiendo 378,26 l/p/d o sea, 3,26 l/p/d más de los 375 l/p/d que establece el ICAA.

También se puede observar que los caudales máximos diarios (QMD) y el caudal máximo horario (QMH) obtenidos a partir de la dotación del ICAA, son considerablemente mayores que los que presenta el acueducto. Lo que quiere decir que el consumo de la población está muy por debajo del consumo que se utiliza para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua en zonas costeras, siendo este resultado beneficioso para el acueducto, ya que la oferta de agua requerida es menor. Sin embargo, este análisis sirve de alerta, ya que, si la población aumenta su consumo; el acueducto deberá aumentar también su oferta y, por consiguiente, deberá buscar nuevas fuentes de abastecimiento para poder satisfacer la demanda del recurso.

En el Cuadro 5.18 se encuentra el análisis de la oferta y la demanda. El Sistema Cuchillo presenta un superávit para el año 2045 de 3,85 l/s ya que la demanda máxima diaria es mucho menor que la producción de la fuente. Además la producción del pozo Cuchillo sería capaz de abastecer a la población cuando haya demanda máxima horaria, ver Cuadro 5.17.

Para el caso del Sistema Paquera y Laberinto, se toma en consideración que es abastecido por la naciente El Tigre y por el pozo Laberinto, ya que son las fuentes que son utilizadas en la actualidad. En el Cuadro 5.18 se observa como para el año 2035 habría un superávit de 0,03 l/s un valor que no brinda seguridad, para el año 2040 el sistema tendría un déficit de 0,53 l/s, este faltante aumenta para el 2045, año en el que el déficit sería de 1,13 l/s, por lo que la demanda máxima diaria no se estaría logrando.

Además actualmente, la oferta de agua no es suficiente para cubrir la demanda máxima horaria del sistema, por lo que no podría satisfacer las necesidades de la población durante la hora de mayor consumo durante ese año. Es importante recalcar que los 10,06 l/s que oferta la Naciente El Tigre es un promedio de dos años y se debe tomar en consideración que en épocas de verano este caudal disminuye; por ejemplo, si el caudal de la naciente disminuyera

a 7,5 l/s como ocurrió en abril del 2017, ver Anexo 3: Reportes de Aforos en Fuentes cuadro A.3.1, no habría un superávit, más bien el acueducto tendría un déficit de 0, 94 l/s.

Para el caso del sistema integrado, se puede observar que utilizando el agua proveniente de la naciente El Tigre, El pozo Cuchillo y Laberinto el sistema tendría un superávit de 2,78 l/s para el año 2045.

**Cuadro 5.18. Balance de oferta y demanda para los sistemas**

Descripción		2020	2025	2030	2035	2040	2045
Sistema Cuchillo	Demanda máxima diaria (l/s)	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,61
	Producción actual fuente Cuchillo (l/s)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
	Superávit (+) o déficit (-)	4,23	4,16	4,1	4,03	3,96	3,85
	Demanda máxima diaria (l/s)	10,29	10,80	11,33	11,88	12,44	13,04
Sistema Paquera y Laberinto	Producción actual fuente Naciente El Tigre (l/s)	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06
	Producción actual fuente Laberinto (l/s)	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
	Superávit (+) o déficit (-)	1,62	1,11	0,58	0,03	-0,53	-1,13
	Demanda máxima diaria (l/s)	11,55	12,12	12,71	13,33	13,97	14,63
Sistema Integrado	Producción actual fuente Cuchillo (l/s)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
	Producción promedio fuente Naciente El Tigre (l/s)	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06
	Producción actual fuente Laberinto (l/s)	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
	Superávit (+) o déficit (-)	5,86	5,29	4,7	4,08	3,44	2,78
	Demanda máxima diaria (l/s)	11,55	12,12	12,71	13,33	13,97	14,63

## 5.8 OPCIONES DE MEJORA PARA EL FORTALECER LA GESTIÓN DE LA ASADA PAQUERA

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, se realizarán recomendaciones para las principales debilidades identificadas.

### 5.8.1 Evaluación de los componentes

Las Guías de Inspección SERSA del Ministerio de Salud son una herramienta para identificar los riesgos que pueda tener el abastecimiento de agua debido a daños en la estructura o en las inmediaciones de esta. Por lo tanto, a continuación, se abordan los principales riesgos identificados.

- **Fuentes de abastecimiento**

Los fontaneros realizan limpiezas de las cajas de captación en la Naciente El Tigre trimestralmente. Se recomienda aprovechar la visita mensual en las que se realizan los aforos para inspeccionar el estado de las cajas, así como el interior de ellas, y verificar que no haya raíces o algún otro inconveniente, en caso de encontrar algo, realizar limpieza. Además, se debe verificar la técnica de aforo; en el Anexo 4: Guía de Aforo, se puede encontrar un ejemplo de cómo se debe realizar correctamente la misma.

Se recomienda la construcción de canales para desviar agua de escorrentía tanto en el sector de la naciente como en los pozos Cuchillo y Laberinto, esto evita posibles daños a la estructura por socavación, además de que evita infiltración de aguas superficiales. Además, se recomienda volver a cercar el perímetro del área de la naciente, para controlar el ingreso de animales o personas no autorizadas.

Debido a que el pozo Cuchillo tiene casas cercanas, se recomienda realizar campañas de concientización a los vecinos para que dispongan sus aguas grises adecuadamente y para las aguas negras, recordarles brindar un mantenimiento adecuado a los tanques sépticos. Los

alrededores del pozo Laberinto son utilizados como botadero ilegal, por lo que recomienda reforzar las campañas de concientización, así como de limpieza en estos sectores.

Como se mencionó en la sección 5.7.3, la oferta de las fuentes actuales no es suficiente en épocas de verano, por lo que es justificable la captación superficial del Río Guarial como fuente de refuerzo.

Para mejorar el filtro que actualmente está construido en el sector de la Naciente El Tigre, se realiza la propuesta de utilizar la estructura que se tiene actualmente con dimensiones de 6 m de largo por 3 de ancho y 2 metros de altura para construir un Filtro Lento de Arena, sin embargo, esta propuesta está basada en una serie de consideraciones.

La primera es que se debe realizar un monitoreo de por lo menos dos años más, de la calidad del agua en la captación superficial. Si los resultados son similares a los parámetros que se reportan en el Cuadro 5.10 el diseño propuesto se podrá utilizar.

La segunda consideración es que el filtro será utilizado en época de verano, el cual comprende según el Instituto Meteorológico Nacional desde Diciembre a Marzo (IMN, n.d.), siempre y cuando no ocurra alguna lluvia en ese periodo. Esto porque según el administrador del acueducto, la ASADA Paquera hará uso de la fuente superficial únicamente en esta época. Además que en época de invierno, los valores de turbiedad aumentan considerablemente, y el filtro no se diseñó para soportar cargas altas de turbiedad, color o coliformes fecales.

En la sección 5.6 se habló que, según el ámbito de calidad bajo, el sistema de tratamiento de agua FiME, debe incluir las unidades FGD<sub>i</sub> y FLA. La propuesta consiste en construir un filtro lento de arena ya que los valores de turbiedad están por debajo de 1 UNT y máximo 5 Pt-Co, ambos resultados son bajos, por lo que el agua podría someterse a un sistema de desinfección, sin embargo, los valores de coliformes fecales son los que presentan un valor elevado; un filtro lento de arena es de utilidad, ya que estos son conocidos por mejorar la calidad microbiológica del agua.

Por lo tanto, se recomienda eliminar las paredes perforadas que actualmente tiene la cámara de filtración y convertirla en una sola, la teoría recomienda que todo filtro lento de arena debe tener por lo menos dos unidades funcionando en paralelo, esto por cuestiones de operación y mantenimiento. Bajo las condiciones de operación actual del acueducto, el cual posee dos fuentes que actualmente no se utilizan o se emplean como refuerzo (Paquera y Laberinto), se considera que en los momentos de mantenimiento del FLA, el abastecimiento de la ASADA no se vería afectada en gran medida, ya que otras fuentes de abastecimiento entrarían en refuerzo.

En el Cuadro 5.19 se resumen los parámetros de diseño, así como las dimensiones de la unidad propuesta.

**Cuadro 5.19. Parámetros de diseño y dimensionamiento de un filtro lento de arena para tratar el agua del Río Guarial**

Ítem	Filtro Lento de Arena
Características generales	
Velocidad de filtración (m/h)	0,4
Caudal (l/s)	2
Área superficial m <sup>2</sup>	18
Número de unidades en paralelo	1
Dimensiones por unidad	
Largo (m)	6
Ancho (m)	3
Altura del agua sobrenadante (m)	0,75
Borde libre (m)	0,2
Altura total (m)	2
Lecho filtrante	
Material	Arena
Altura lecho de soporte (m)	0,25
Altura lecho filtrante (m)	0,80
Diámetro (mm)	$C_u = 3$ y $d_{10} = 0,30$



Para el dren, se proponen 3 laterales de 2,80 m de longitud cada uno, con 38 orificios de 13 mm de diámetro con espacios entre orificios de 0,15 m, en tubería de PVC SDR 32,5 de 100 mm de diámetro, con un colector con las mismas especificaciones y 5 m de longitud. En el Apéndice 13: Diseño Filtro Lento Arena se encuentran detalles de los laterales y sus orificios, así como del vertedero triangular y la cámara de entrada al filtro. Además en el Cuadro A.13.1, del mismo apéndice, se encuentran las pérdidas de carga para los componentes.

El Cuadro 5.20 muestra las alturas y las características del lecho filtrante y del lecho de soporte. Además en la Figura 5.31 y Figura 5.32 se muestra el detalle del FLA.

**Cuadro 5.20. Características de las capas del filtro lento de arena para tratar el agua del Río Guarial**

EL LECHO	Altura del lecho (m)	Diámetro efectivo (mm)	Volumen requerido (m <sup>3</sup> )
Borde libre	0,20		
Película de agua	0,75		
Arena de filtro	0,80	0,3 (coeficiente de uniformidad < 3)	14,4
Capa de soporte:			
Gravilla	0,05	3,5	0,9
Grava	0,05	8,5	0,9
Grava	0,15	16,0	2,7
Altura del filtro	2,00		

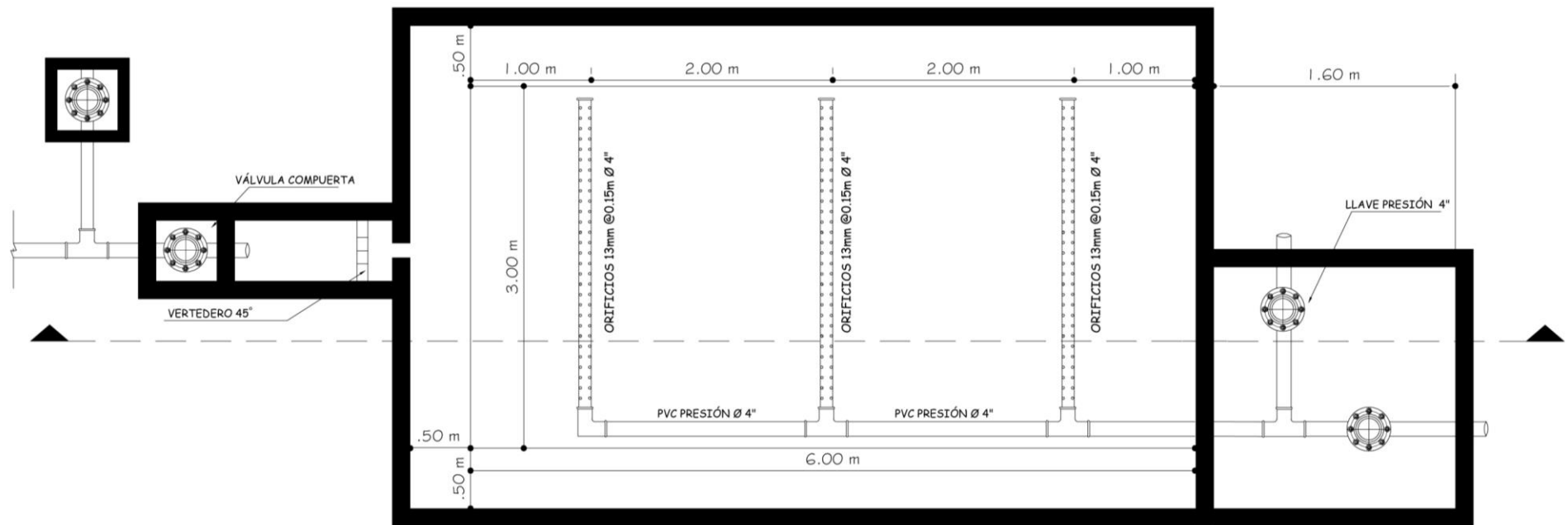
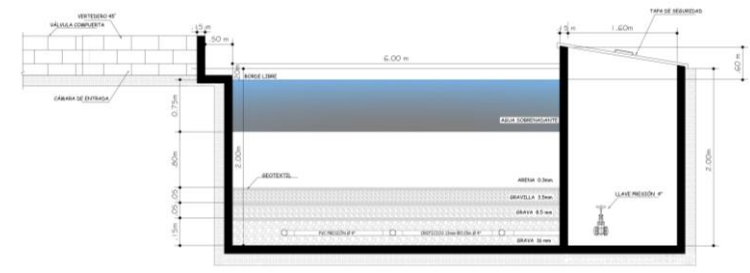


Figura 5.31. Propuesta de diseño vista en planta del Filtro Lento de Arena

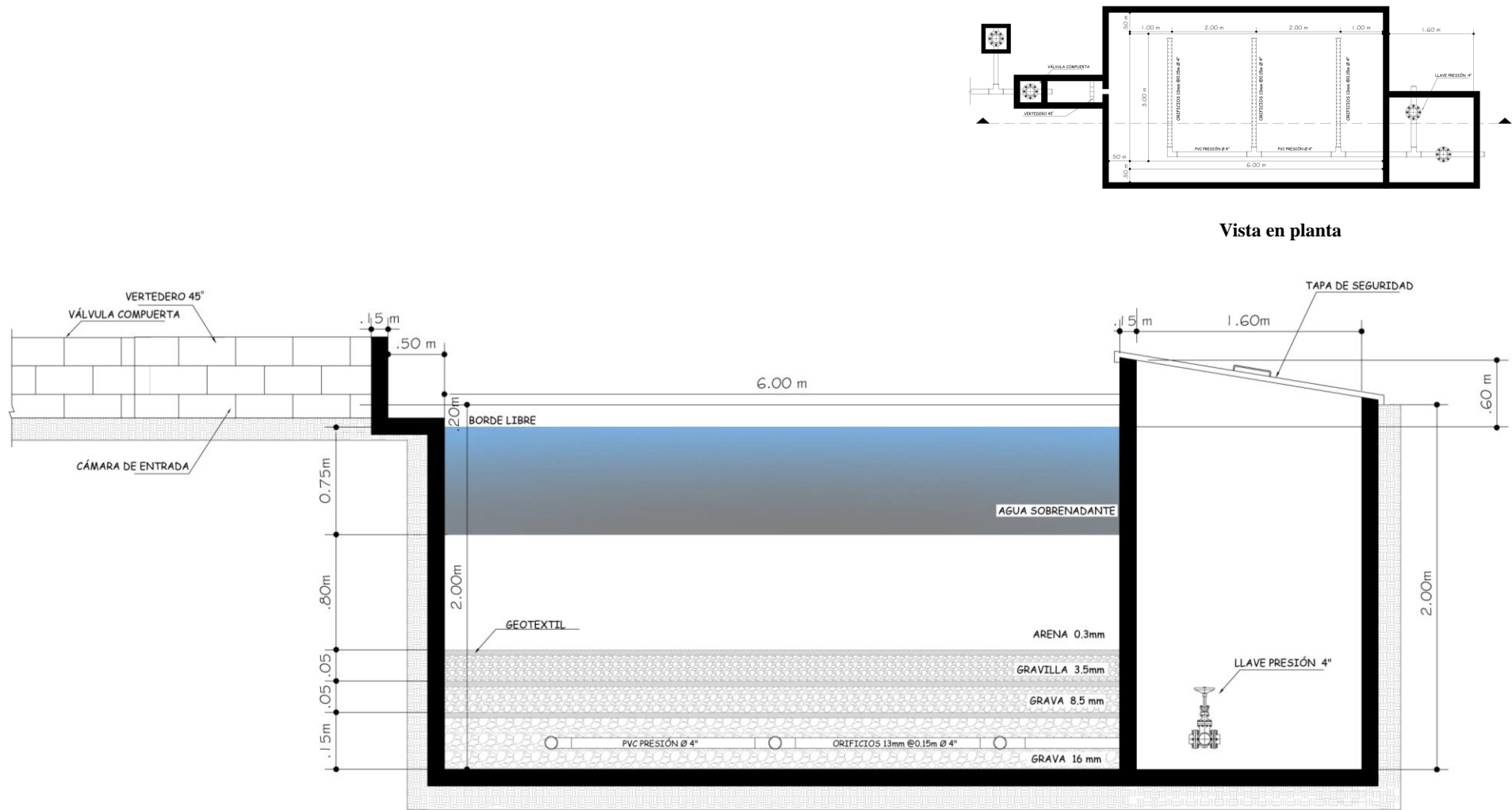


Figura 5.32. Propuesta de diseño Corte del Filtro Lento de Arena

- **Tanques de Almacenamiento**

Realizar mantenimiento a las cercas de protección, para poder restringir el paso a personas no autorizadas y/o el ingreso de animales a la zona. Además, realizar mantenimiento a las tapas, utilizar pintura anticorrosiva. Construcción de bordes de concreto, de por lo menos un metro alrededor de la estructura, para evitar la erosión y la socavación de la estructura.

También, brindar mantenimiento al tanque Laberinto, para evitar el deterioro de la estructura y que visualmente ayuda a identificar daños, por ejemplo fisuras que permitan el ingreso de agua superficial o fugas de agua.

- **Sistemas de Cloración**

Se recomienda la colocación de macro medidores a la salida del Tanque Guarial y posterior a la salida del Pozo Laberinto para determinar el caudal de agua a ser clorada. Además se debe llevar una bitácora con:

- El caudal de la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio.
- Registro del agua que va a ser clorada.
- Registro de la concentración de la disolución de hipoclorito de sodio.
- Registro de la concentración de cloro residual en el tanque de almacenamiento.
- Registros de cantidad de consumo de cloro día, semana, mes o año.

Como resultado de la prueba de demanda de cloro, se calculó la concentración de hipoclorito de sodio que debe agregar la bomba dosificadora de cloro. Para esto, se utilizó el caudal que utilizan las bombas dosificadoras del acueducto Cuadro 5.21 (R., Arias comunicación personal, 19 de julio, 2019) además, el caudal de la Naciente El Tigre utilizado, fue el promedio aforado que se muestra en el Cuadro 5.12 y para el caso de los pozos, se utilizó el caudal que el acueducto estima ingresa a los tanques de almacenamiento (R., Arias comunicación personal, 26 de agosto, 2019).

Por lo tanto, el Cuadro 5.21 muestra las variables que se utilizaron para obtener la concentración de la dosis del desinfectante utilizando la ecuación 5.1.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \text{ (ec. 5.1)}$$

Donde,

$C_1 =$	Concentración de la dosis aplicada de hipoclorito de sodio (mg/l)
$V_1 =$	Caudal de la bomba dosificadora (l/s)
$C_2 =$	Concentración de hipoclorito de sodio que requiere el agua (mg/l)
$V_2 =$	Caudal de la fuente de abastecimiento (l/s)

**Cuadro 5.21 Dosis y caudal de hipoclorito de sodio ( $\text{HClO}_3^-$ ) para el caudal correspondiente a la FA.**

Fuente de abastecimiento	Caudal dosificación de $\text{HClO}_3^-$	Concentración dosis de $\text{HClO}_3^-$	Caudal del sistema
Naciente El Tigre	140 ml/min	0,72 mg/l	10,06 l/s
Pozo Laberinto	30 ml/min	0,72 mg/l	1,85 l/s
Pozo Cuchillo	60 ml/min	0,66 mg/l	5,5 l/s
Pozo Paquera	18 ml/min	0,63 mg/l	5,26 l/s

Por lo que se recomienda verificar con el proveedor del sistema de electrolisis que la concentración de la dosis de  $\text{HClO}_3^-$  aplicada por la bomba dosificadora sea de 3 108,67 mg/l para la Naciente el Tigre, 2664,00 mg/l pozo Laberinto, 3630,00 mg/l para el Pozo Cuchillo y 11 046,00 mg/l para el pozo Paquera.

Otra recomendación es realizar la cloración en los tanques de almacenamiento, principalmente para el agua del pozo Cuchillo, ya que la línea de conducción hacía tanque de almacenamiento Cuchillo es de 4 km de longitud y en este trayecto puede perderse el efecto residual del cloro al estar en contacto con la tubería, por lo que se requieren mayor dosificación de hipoclorito de sodio.

Llevar el agua proveniente del pozo Paquera hacia un tanque de almacenamiento y no realizar la conexión directo a la red, debido a que según el Reglamento de Calidad de Agua, el agua clorada debe tener como mínimo 20 minutos de contacto (Poder Ejecutivo, 2015b).

- **Líneas**

Revisar las líneas de distribución y conducción y asegurar el tramo que está al descubierto, en la línea de conducción naciente El Tigre a tanque de almacenamiento Guarial. Se recomienda colocar una válvula de purga en la línea de distribución Laberinto.

## **5.8.2 Gestión de la ASADA**

- **Gestión administrativa financiera**

Según el plan de trabajo y el resultado obtenido en la aplicación del formulario unificado, la capacidad de liquidez es menor al 50%. Por lo tanto, se recomienda, realizar una revisión de gastos que se realizan para determinar a cuáles se les puede hacer un recorte, además se debe revisar las líneas de distribución y conducción para evitar fugas, de esta forma, se requeriría menos bombeo, lo que ahorraría hipoclorito sódico y energía eléctrica. Además se recomienda buscar fuentes alternativas en las que se abastezca a la comunidad por medio de gravedad.

- **Gestión comercial**

De acuerdo con el resultado del FU, el agua no contabilizada es mayor al 40%, por lo que se recomienda instalar macro medidores a la salida del tanque de almacenamiento Guarial y a la salida de los pozos para identificar con mayor precisión el agua no contabilizada y poder identificar los sectores que presentan fugas en la red de distribución y de esta forma, intervenirlos. Además promover en la comunidad el uso racional del agua para evitar el desperdicio.

- **Gestión Comunal**

Se recomienda promover en los nuevos y actuales abonados la afiliación e impulsar la asistencia a las asambleas de los socios, ya que la participación ciudadana, como se mencionó anteriormente, da apoyo y valida las decisiones de la junta directiva.

- **Gestión del recurso hídrico**

Realizar estudios hidrológicos e hidrogeológicos para definir áreas de protección, para mantener en el transcurso de los años los caudales en las fuentes. Continuar con las campañas

de reforestación y promover campañas de concientización para evitar desperdicios de agua y realizar un uso consiente del recurso.

- **Gestión de los sistemas de agua**

Se recomienda realizar el manual de operación y mantenimiento del acueducto. Además, continuar con los análisis de calidad de agua, e incluir análisis de la fuente superficial Río Guarial. Por lo que se recomienda realizar la clasificación inicial de cuerpos de agua superficiales según lo estipulado en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, en los que se encuentra los siguientes análisis físico-químicos: porcentaje de saturación de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Nitrógeno Amoniacal (Poder Ejecutivo, 2007).

### **5.8.3 Aspectos en la Comunidad**

La población abastecida por la ASADA Paquera se encuentra satisfecha por la calidad, cantidad y continuidad del agua. De igual forma, se insta al acueducto a realizar campañas de concientización sobre el uso racional del recurso hídrico, principalmente en las comunidades que presentan altas dotaciones, además motivar a los habitantes a tomar medidas en sus hogares para disminuir el consumo del mismo, como colocar accesorios de bajo consumo, identificación y reparación oportuna de fugas, entre otros.

Ante nuevas construcciones se insta a planificar adecuadamente el lugar de disposición de las aguas negras, grises y pluviales para evitar el incorrecto tratamiento de las mismas, y problemas de salud por generación de vectores o mosquitos. Se recuerda el papel de la Municipalidad de resguardar la seguridad de la población al no permitir el desarrollo urbano en sitios considerados de alto riesgo, como a las laderas de los ríos o sitios con riesgo de inundaciones o deslizamientos.

Tomar en consideración, para próximos proyectos constructivos, la ubicación de los sistemas individuales (tanques sépticos), para facilitar en un futuro la conexión de los mismos a la red

de alcantarillado sanitario. A los pobladores se les recuerda que a los tanques sépticos se les debe brindar mantenimiento y la recolección de los lodos se debe realizar con gestores autorizados.

El Distrito de Paquera pertenece al cantón central de Puntarenas y según la Ley N° 8839 los gobiernos locales deben elaborar el Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), debido a la autonomía administrativa que posee el Concejo Municipal de Distrito de Paquera este es el encargado de la gestión integral de los residuos sólidos en las comunidades, y no la Municipalidad de Puntarenas. Durante la investigación se percibió que la mayoría de las personas no separan sus residuos y las que si separan alguno de los materiales valorizables desconocen qué hacer con ellos y en algunos casos, separan los residuos, pero los echan junto a los residuos ordinarios que van al camión recolector municipal. Se recomienda a la población, llevar sus residuos a los centros de acopio más cercanos, hasta que el Consejo Municipal defina su PGIRS. Algunos centros cercanos de disposición de residuos son: Gollo Paquera, recibe residuos electrónicos y el Centro de Acopio Molina Recycling el cual recibe: aceite de cocina, aluminio, botellas plásticas, envases Florex, hojalata, papel y cartón tetrapack y vidrio; este centro está ubicado de la escuela Julio Acosta García, 75 m norte (ecoins, 2019).

Se insta al Consejo Municipal de Distrito, a la ASADA, al Ministerio de Salud y a otras organizaciones, velar por la correcta gestión de los residuos sólidos, el cuidado del agua, la correcta disposición de las aguas residuales. Se recomienda realizar campañas de educación, para sensibilizar en temas como la protección del recurso hídrico, la jerarquización de los residuos sólidos, la participación ciudadana y la salud, estas se podrían impartir a niños y niñas y a personas adultas y adultos mayores en las escuelas Julio Acosta García, Cuchillo y Guarial o en algunos de los salones comunales. Se invita a visibilizar los centros de acopio de residuos que hay en la comunidad o las diferentes opciones que el gobierno local brinda a sus pobladores.



## 6 CONCLUSIONES

Los sistemas de cloración de las tres fuentes de abastecimiento presentan deficiencias, además los resultados de cloro residual libre en el momento de muestreo estaban por encima de 0,6 mg/l, por lo que la normativa del Reglamento para la Calidad de Agua Potable no se está cumpliendo.

Los efectos del cambio climático hacen que el área de la Naciente El Tigre sea una zona con alta vulnerabilidad, ya que se ha visto afectada por incidentes de este tipo en el año 1996 y 1997 y en el 2018, por lo que es necesario y muy importante que la ASADA tenga plan de contingencia ante este tipo de emergencias.

Según la evaluación del Formulario Unificado, el servicio que presta la ASADA es de altos estándares de calidad ya que la organización y el funcionamiento es adecuado, además está preparada para enfrentar problemas y resolverlos.

Partiendo del hecho que la cobertura de la ASADA Paquera es del 100% y que el agua suministrada por el acueducto es libre de contaminación fecal y sustancias químicas prioritarias, se determina que el 100% del servicio es gestionado de forma segura.

Tomando en cuenta la disposición de excretas por medio de tanque séptico como un “Sistema de Tratamiento Gestionado de Forma Segura”, el porcentaje de cobertura es de 95% de la población. Sin embargo, es necesario regular la disposición de las aguas residuales grises para disminuir la contaminación ambiental, así como problemas de saneamiento.

La curva de demanda de cloro para las cuatro muestras de agua cruda de las fuentes presenta un comportamiento asociado a bajas concentraciones de sustancias reductoras como hierro, manganeso, aminas, amoniaco y materia orgánica. Además, se determinó que la dosis requerida para obtener un cloro libre residual de 0,6 mg/l a la salida del tanque de almacenamiento, para el agua procedente de: La Naciente El Tigre, Pozo Laberinto, Pozo Paquera y Pozo Cuchillo es de 0,72 mg/l, 0,72 mg/l, 0,63 mg/l y 0,66 mg/l respectivamente.

El consumo actual varía según la comunidad abastecida, yendo desde los 188,84 L/p/d a sectores con 856,18 L/p/d, estando en la mayoría de los casos 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 las comunidades costeras del país. Por lo que el trabajo de sensibilización a la comunidad, especialmente a aquellos sectores con altos consumos, es trascendental para hacer un uso adecuado del recurso hídrico.

La oferta actual de agua no es suficiente para abastecer el caudal máximo diario de la población abastecida por medio del sistema Paquera y Laberinto para el año 2045. Por lo que se justifica la búsqueda de fuentes alternativas, especialmente fuentes que funcionen por gravedad.

## **7 RECOMENDACIONES**

Con el fin de realizar la determinación de las curvas de demanda de cloro con menor incertidumbre, se recomienda realizar el análisis por medio de la técnica de valoración, utilizando un sistema volumétrico.

Es importante determinar la cinética de reacción y la constante de degradación con el fin de conocer la rapidez con la que se consume el cloro en la red, además analizar COT para identificar si el agua no representa riesgo de formación de trihalometanos.

Se recomienda realizar un análisis físico químico y microbiológico al agua del Río Guarial para caracterizar las aguas que estarían entrando al filtro actual de la ASADA, además realizar un estudio de eficiencia de remoción de los contaminantes que tendría ese filtro, que se estima entre en funcionamiento en el verano del 2020

Llevar a cabo un estudio en invierno, similar al realizado en este proyecto, para identificar si el afluente en época lluviosa cumple con los parámetros físico químico y microbiológico, para los que fue diseñado el FLA y de esta forma determinar si puede ser utilizado durante todo el año. .

## 8 REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2015). *Modelación para evaluar cloro residual en la red principal del sistema de agua potable de Buenavista, cantón Pasaje, provincia de El Oro*. Universidad Técnica de Machala.
- American Public Health Association , American Water Works Association, and W. P. C. F. (2012). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (22th ed.; L. S. C. Eugene W. Rice, Rodger B. Baird, Andrew D. Eaton, Ed.).
- Baltonado, D. (2017). *Herramienta para la mejora de la gestión físico-sanitaria de 10 ASADAS de la región Pacífico Central de Costa Rica*. Universidad Nacional.
- Bollinger, L. A., Bogmans, C. W. J., Chappin, E. J. L., Dijkema, G. P. J., Huibregtse, J. N., Maas, N., ... Tavasszy, L. A. (2014). Climate adaptation of interconnected infrastructures: A framework for supporting governance. *Regional Environmental Change*, *14*(3), 919–931. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0428-4>
- Bouabid, A., & Louis, G. E. (2015). Capacity factor analysis for evaluating water and sanitation infrastructure choices for developing communities. *Journal of Environmental Management*, *161*, 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.012>
- Bower, K. M. (2014). Water supply and sanitation of Costa Rica. *Environmental Earth Sciences*, *71*(1), 107–123. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2416-x>
- Castro, A. (2018, July). CCSS insiste a la población extremar medidas de prevención ante inundaciones.
- Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos CEQIATEC. *Guía Técnica: procedimiento de toma de muestra para aguas potables.* , (2019).
- Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos CEQIATEC. *Guía Técnica: procedimiento de toma de muestra para aguas residuales y aguas superficiales.* , (2019).
- CNE. (n.d.). *Amenazas de Origen Natural Cantón de Puntarenas*.
- Cristóbal, F. W. (2005). *Descripción hidráulica de la batería de filtros de la planta No. 1 de la Arteja* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Retrieved from [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal\\_ef/cap02.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cap02.pdf)
- ecoins. (2019). Centros de valorización. Retrieved August 10, 2019, from <https://costarica.ecoins.eco/CentrosValorizacion/Index>

- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas: Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Agua*. Cali, Colombia: CINARA.
- Garro-Ureña, I. (2017). *Diagnóstico y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA de San Antonio de León Cortés*.
- Gaviria-Montoya, L., Pino-Gómez, M., & Soto-Córdoba, S. M. (2016). *Evaluación de la gestión de la ASADA de Guatuso, San Isidro, El Guarco, desde una perspectiva del uso sostenible del recurso hídrico*. Cartago.
- Guevara, S. (2009). Relación Jurídica AYA- ASADAS: Rectoría.pdf. *Hidrogénesis*, 10.
- Herrera-Murillo, J. (2017). Uso y estado de los recursos: recurso hídrico. *Informe Estado de La Nación En Desarrollo Humano Sostenible*, 32. Retrieved from [https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/023/Ambientales/Herrera\\_J\\_2017a.pdf](https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/023/Ambientales/Herrera_J_2017a.pdf)
- Hidrotec Internacional. (2015). *Estudio técnico Paquera*.
- Hutton, G., & Chase, C. (2016). The knowledge base for achieving the sustainable development goal targets on water supply, sanitation and hygiene. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(6), 1–35. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060536>
- Ibarguen, M., & Bernal, L. (2008). *Establecer la demanda de cloro en el acueducto Tribunas Córcega de la ciudad de Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- ICAA. (n.d.). Áreas de protección. Retrieved July 8, 2019, from <https://www.aya.go.cr/ASADAS/Leyes y reglamentos/AREAS DE PROTECCION.pdf>
- ICAA. (2016). *Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica, 2017-2030*. San José, Costa Rica.
- ICAA. Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. , La gaceta No 180 § (2017).
- ICAA. (2018). *Formulario unificado de información sobre organizaciones comunales prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento*. 1–12. Retrieved from <https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/FORMULARIO UNIFICADO.pdf>
- ICAA, CRUSA, & PNUD. (2017). *Informe final: Fortalecimiento del Sistema Nacional de la información del Recurso Hídrico (INGIRH) por medio de la consolidación del*

- Sistema de Información de ASADAS (SAGA) y combate al agua no contabilizada en los cantones de San Carlos y Sarapiquí.* Retrieved from [http://www.cr.undp.org/content/dam/costa\\_rica/docs/undp\\_cr\\_Informe\\_finalCRUSA.pdf](http://www.cr.undp.org/content/dam/costa_rica/docs/undp_cr_Informe_finalCRUSA.pdf)
- IMN. (n.d.). Clima en Costa Rica - Pacífico Norte. Retrieved August 1, 2019, from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/PacificoNorte.pdf/4a0e8960-8c51-4390-8a8d-73d9d825d59b>
- INEC. (2011). Censo 2011: indicadores de hogar según cantón y distrito.
- INEC. (2019). Censo de Población y Vivienda. Retrieved July 20, 2019, from <http://www.inec.go.cr/sistema-de-consultas>
- Keesstra, S. D., Geissen, V., Mosse, K., Piirainen, S., Scudiero, E., Leistra, M., & van Schaik, L. (2012). Soil as a filter for groundwater quality. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.007>
- Lippi, C. (2016). *Caracterización experimental del flujo de aproximación a una obra hidraulica en un modelo físico 2D (H:V)*. Retrieved from <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4315/PSFLFINAL2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, P. (2001). *Prácticas de Laboratorio Química Sanitaria II Manual Teórico - Práctico* (F. de I. Universidad del Valle, Ed.). Santiago de Cali, Colombia.
- Madrigal, K. (2017). Naviera Tambor continuará con concesión para servicio de ferri Puntarenas- Paquera. Retrieved August 2, 2019, from La República.net website: <https://www.larepublica.net/noticia/naviera-tambor-continuara-con-concesion-para-servicio-de-ferri-puntarenas-paquera>
- Madrigal, R., Alpízar, F., & Schlüter, A. (2011). Determinants of Performance of Community-Based Drinking Water Organizations. *World Development*, 39(9), 1663–1675. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.02.011>
- Malterud, K., Siersma, V. D., & Guassora, A. D. (2016). *Sample Size in Qualitative Interview Studies: Guided by Information Power*. Malterud, K., Siersma, V. D., & Guassora, A. D. (2016). Sample Size in Qualitative Interview Studies. *Qualitative Health Research*, 26(13), 1753–1760.
- Marcó, L. (2010). *Agua y Salud. Una perspectiva ciudadana*. 1–10. Retrieved from

<http://www.fcs.uner.edu.ar/saludparatodos/wp-content/uploads/2014/08/Agua-y-Salud.Una-perspectiva-ciudadana..pdf>

- Mora-Alvarado, D., & Portuguese-Barquero, C. (2019). *Agua para consumo humano por provincias y Saneamiento por Regiones en forma segura en zonas urbanas y rurales de Costa Rica al 2018*.
- Mora, S. (2011). *Evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua*. Universidad de Costa Rica.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos* (sexta edic). Mexico: Pearson Educacion.
- OPS, & CEPIS. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. Lima.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (Tercera Ed, Vol. 1).
- Pabon-Zamora, L., Bezaury, J., Leon, F., Gill, L., Stolton, S., Groves, A., ... Dudley, N. (2008). *Valorando la Naturaleza: Beneficios de las áreas protegidas*.
- Pérez-Vera, A., & Ortiz-Torres, B. (2013). Participación ciudadana en la transformación del manejo del agua en Puerto Rcio. *Revista Puertorriqueña de Psicología*, 24, 01–17.
- Poder Ejecutivo. (2005). Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes. *La Gaceta No 150*, (150), 1–24.
- Poder Ejecutivo. (2007). Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. *La Gaceta No. 178*, 1–21.
- Poder Ejecutivo. (2015a). *Reforma al Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 39144-S*.
- Poder Ejecutivo. (2015b). Reglamento para la Calidad del agua potable. *La Gaceta No 84*, (84), 2. Retrieved from [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)
- Poder Ejecutivo. (2019). *Reforma Reglamento para la Calidad de Agua Potable N° 41499-S*.
- Ponce, F. (2006). *Manual para ensayo de perdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica* (Universidad de San Carlos de Guatemala). Retrieved from [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2668\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2668_C.pdf)
- Presidencia de la República. (2018). 240 comunidades de 20 cantones afectadas por lluvias.

Retrieved from <https://presidencia.go.cr/comunicados/2018/10/240-comunidades-de-20-cantones-afectadas-por-lluvias/%0D>

Quirós, G. (2016). *Diagnóstico del estado actual de los acueductos de Tres Amigos, Candelaria y Campos de Oro, San Rafael y La cruz ubicados en la parte alta de la cuenca del río Abangares y propuestas para su mejoramiento*. Universidad de Costa Rica.

Sánchez, L., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2006). *Filtración en Múltiples Etapas*.

Sancho-Vargas, M. (2019). *Propuesta de sistema de tratamiento para la reducción del contenido de Dureza Total y Sulfato en el acueducto de la ASADA Santa Cruz de Turrialba*. Tecnológico de Costa Rica.

Solís-castro, Y., Zúñiga-zúñiga, L. A., & Mora-alvarado, D. (2017). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 31-1, 35-46. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>

Sotelo Ávila, G. (1997). *Hidraulica general* (G. Noriega, Ed.). Retrieved from [ftp://soporte.uson.mx/publico/04\\_INGENIERIA.CIVIL/lineas/pdf/Hidraulica General - Gilberto Sotelo Davila.pdf](ftp://soporte.uson.mx/publico/04_INGENIERIA.CIVIL/lineas/pdf/Hidraulica%20General%20-%20Gilberto%20Sotelo%20Davila.pdf)

Soto-Córdoba, S. M., Gaviria-Montoya, L., & Pino-Gómez, M. (2016). Situación de la gestión del agua potable en las zonas rurales de la provincia de Cartago, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(8), 67. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2986>

Soto-Córdoba, S. M., Gaviria-Montoya, L., & Pino-Gómez, M. (2018). Condiciones del saneamiento ambiental sostenible en comunidades Rurales de la Provincia de Cartago años 2014-2016 , Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, Vol. 31-2, 106-116. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i2.3628>

Trapote, A. (2014). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias I. Abastecimiento y distribución de agua* (2 ed). España: Universidad de Alicante.

UNECE. (2009). *Guía sobre agua y adaptación al cambio climático*. 144. Retrieved from [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT\\_climate\\_change/ECE\\_MP.WAT\\_30\\_ESP\\_final\\_for\\_web.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_climate_change/ECE_MP.WAT_30_ESP_final_for_web.pdf)

Weber, W. J. (1979). *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos* (Editorial).

WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *World Health Organization, Fourth Edi*. Retrieved from <https://apublica.org/wp-content/uploads/2014/03/Guidelines->

OMS-2011.pdf

WHO, UNICEF, & Programme Joint Monitoring. (2017). Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene. *World Health Organization*. [https://doi.org/10.1111 / tmi.12329](https://doi.org/10.1111/tmi.12329)




## **APÉNDICES**




## APÉNDICE 1: GUÍAS DE INSPECCIÓN SERSA: FUENTES


Cuadro A.1.1 Guía de Inspección SERSA Naciente El Tigre

I-) INFORMACION GENERAL			
<p>Fecha: 13-08-2018            Nombre acueducto: ASADA Paquera            Nombre naciente o manantial: Naciente el Tigre            Número de registro en MINAE: 35R            Registro en Dirección de ARS: No tiene            Encargado del acueducto: Roy Arias Gómez            Teléfono: 87737391            Tipo de Captación:            Caseta <input type="checkbox"/> A nivel <input type="checkbox"/>            Enterrada <input checked="" type="checkbox"/> Semi-enterrada <input type="checkbox"/></p>			
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA			
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua de una naciente		SI	NO
1.	¿Está la naciente sin cerca de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación (crítica)		X
2.	¿Está la captación de la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin tapa o sin tanque de captación).		X
3.	¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias?	X	
4.	¿Están las paredes y las losas superior e inferior de la captación con grietas? (crítica)		X
5.	¿Se carece de canales para desviar el agua de escorrentía? (crítica)	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 la captación? (crítica)		X
9.	¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura)		X
10.	¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? (crítica)		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>		<b>4</b>	<b>7</b>
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		<b>INTERMEDIO</b>	


**Cuadro A.1.2 Guía de Inspección SERSA Naciente El Tigre**

I-) INFORMACION GENERAL		
<p>Fecha:10-12-2018                      Nombre acueducto: ASADA Paquera                      Nombre naciente o manantial: Naciente el Tigre                      Número de registro en MINAE :35R                      Registro en Dirección de ARS: no tiene                      Encargado del acueducto: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Tipo de Captación:                      Caseta                    ( )     A nivel ( )                      Enterrada                (X)    Semi-enterrada ( )</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua de una naciente	SI	NO
1. ¿Está la naciente sin cerca de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación (crítica)	X	
2. ¿Está la captación de la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin tapa o sin tanque de captación).		X
3. ¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias?		X
4. ¿Están las paredes y las losas superior e inferior de la captación con grietas? (crítica)		X
5. ¿Se carece de canales para desviar el agua de escorrentía? (crítica)	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 la captación? (crítica)		X
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura)		X
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? (crítica)		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	3	7
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>INTERMEDIO</b>	


**Cuadro A.1.3 Guía de Inspección SERSA Pozo Cuchillo**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
<p>Fecha: 13-08-2018                      Nombre acueducto: Paquera                      Nombre pozo: Cuchillo                      Número de Concesión en MINAE: 827R                      Número dado por SENARA: Desconocido                      Encargado del acueducto: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: No aplica                      Profundidad del nivel:                      Friático -1                      profundidad: 44                      Dinámico 0                      Diámetro: Encamisado 6 pulgadas tubería 4". Espesor: SDR 26                      Material: Hierro                      Tipo de pozo:                      Artesanal ( ) Mecánico ( ) Hidráulico( X )</p>		
<b>II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la toma de pozos</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Está el pozo sin cerca de protección que impida el acceso de personas y animales (crítica)		X
2. ¿Está el pozo desprotegido abierto a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tapa). (crítica)		X
3. ¿Está la bomba en malas condiciones (sucia, mal funcionamiento)?		X
4. ¿Se carece de la curva de bombeo del fabricante de la bomba?	X	
5. ¿Se carece de canales para desviar el agua de escorrentía? (crítica)	X	
6. ¿Se carece con un tubo de 25-38 mm de diámetro para efectuar la medición de niveles de agua?	X	
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro del pozo?		X
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor del pozo? (crítica)		X
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del pozo? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura)	X	
10. ¿Se encuentra el pozo ubicado en zonas con actividad agrícola o industrial? (crítica)		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	4	6
<b>Nivel de riesgo identificado (Número de X)</b> Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>INTERMEDIO</b>	

**Cuadro A.1.4 Guía de Inspección SERSA Pozo Laberinto**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
<p>Fecha: 14 agosto 2018                      Nombre acueducto: Paquera                      Nombre pozo: Laberinto                      Número de Concesión en MINAE: 859R                      Número dado por SENARA: desconocido                      Encargado del acueducto: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: No aplica                      Profundidad del nivel:                      friático: 2 m                      dinámico 14 m                      profundidad 36 m                      Diámetro: 6” Espesor: SDR 26 Material: PVC                      Tipo de pozo:                      Artesanal ( ) Mecánico ( ) Hidráulico(X)</p>		
<b>II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la toma de pozos</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Está el pozo sin cerca de protección que impida el acceso de personas y animales (crítica)		X
2. ¿Está el pozo desprotegido abierto a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tapa). (crítica)		X
3. ¿Está la bomba en malas condiciones (sucia, mal funcionamiento)?		X
4. ¿Se carece de la curva de bombeo del fabricante de la bomba?	X	
5. ¿Se carece de canales para desviar el agua de escorrentía? (crítica)		X
6. ¿Se carece con un tubo de 25-38 mm de diámetro para efectuar la medición de niveles de agua?	X	
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro del pozo?		X
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor del pozo? (crítica)		X
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del pozo? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura)	X	
10. ¿Se encuentra el pozo ubicado en zonas con actividad agrícola o industrial? (crítica)		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de “si”)</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>INTERMEDIO</b>	


**Cuadro A.1.5 Guía de Inspección SERSA Toma de Agua Superficial Río Guarial**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
<p>Fecha: 06-05-2019                      Nombre acueducto: ASADA Paquera                      Nombre toma: Río Guarial                      Número de registro en MINAE No posee                      Registro en Dirección de ARS No posee                      Encargado del acueducto:                      Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: No aplica                      Frecuencia de limpieza:                      Nunca ( ) Mensual ( x ) Semanal ( )                      Diario ( ) Otro ( ) Especificar</p>		
<b>II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Está la captación fuera de un área protegida o zona de conservación?	X	
2. ¿Está la toma de agua desprovista de infraestructura que la proteja?	X	
3. ¿Está el área alrededor de la toma sin cerca?	X	
4. ¿Está la toma de agua ubicada dentro de alguna zona de actividad agrícola? (crítica)		X
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (letrinas, animales, viviendas, basura o industrias, etc.)? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura) (crítica)		X
6. ¿Está la captación con acceso fácil de personas y animales? (crítica)	X	
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X	
8. ¿Existe presencia de plantas (raíces, hojas y otros) tapando las rejillas de la toma?	X	
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma de agua?		X
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X	
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	7	
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>ALTO</b>	



## APÉNDICE 2: GUÍAS DE INSPECCIÓN SERSA: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Cuadro A.2.1 Guía de Inspección SERSA Tanque de Almacenamiento Guarial

I-) INFORMACION GENERAL		
<p>Fecha: 13-08-2018            Nombre acueducto: Paquera            No. Registro: desconocido            Nombre tanque: Guarial            Dirección: 300 m sur del quebrador ganadera Guarial            Encargado: Roy Arias Gómez            Teléfono: 87737391            Nombre del funcionario: No aplica            Tipo tanque:            Elevado ( ) A nivel ( )            Enterrado ( ) Semi-enterrado (X)</p> <p>Material del tanque:            Concreto (X) Metálico ( ) Plástico ( )</p> <p>Frecuencia de limpieza:            Anual ( ) Semestral (X) Trimestral ( )            Mensual ( ) Otra ( ) No sabe/Nunca()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento	SI	NO
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? (critica)		X
2. ¿Está la tapa del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? (critica)	X	
3. ¿Es el borde de cemento alrededor del tanque menor a 1 metro?	X	
4. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (critica)		X
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque?		X
6. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?		X
7. ¿Está ausente o defectuosa la cerca de protección?		X
8. ¿Carece la tapa de un sistema seguro de cierre (candado, cadena, tornillo)?		X
9. ¿Carece el tanque de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? (crítica)		X
10. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial) (critica)		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	2	
<b>Nivel de riesgo identificado (Número de X)</b> Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>BAJO</b>	



**Cuadro A.2.2 Guía de Inspección SERSA Tanque de Almacenamiento Cuchillo**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>			
Fecha: 13-8-2018 Nombre acueducto: Paquera No. Registro: desconocido Nombre tanque: Cuchillo Dirección: 100 m S y 300 E puerto Paquera Encargado: Roy Arias Gómez Teléfono: 87737391 Nombre del funcionario: No aplica  Tipo tanque: Elevado ( )                      A nivel ( ) Enterrado ( )                      Semi-enterrado ( X )  Material del tanque: Concreto (X)                      Metálico ( )                      Plástico ( ) Frecuencia de limpieza: Anual ( )                      Semestral (X)                      Trimestral ( ) Mensual ( )                      Otra ( )                      No sabe/Nunca ( )			
<b>II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>			
<b>Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? (critica)		X	
2. ¿Está la tapa del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? (critica)	X		
3. ¿Es el borde de cemento alrededor del tanque menor a 1 metro?	X		
4. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (critica)		X	
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque?		X	
6. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?		X	
7. ¿Está ausente o defectuosa la cerca de protección?	X		
8. ¿Carece la tapa de un sistema seguro de cierre (candado, cadena, tornillo)?		X	
9. ¿Carece el tanque de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? (crítica)		X	
10. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial) (critica)		X	
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	3	7	
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>INTERMEDIO</b>		

**Cuadro A.2.3 Guía de Inspección SERSA Tanque de Almacenamiento Laberinto**

I-) INFORMACION GENERAL		
<p>Fecha: 14 agosto 2018                      Nombre acueducto: Paquera                      No. Registro: desconocido                      Nombre tanque: Laberinto                      Dirección: 100 S y 600 O de la entrada Principal a Barrio Laberinto                      Encargado: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: No aplica</p> <p>Tipo tanque:                      Elevado ( )            A nivel ( )                      Enterrado ( )        Semi-enterrado (X)</p> <p>Material del tanque:                      Concreto (X)        Metálico ( )        Plástico ( )</p> <p>Frecuencia de limpieza:                      Anual ( )    Semestral ( )    Trimestral ( )                      Mensual ( )    Otra (X)        No sabe/Nunca ( )</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento	SI	NO
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? (critica)		X
2. ¿Está la tapa del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? (critica)	X	
3. ¿Es el borde de cemento alrededor del tanque menor a 1 metro?	X	
4. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (critica)		X
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque?		X
6. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?	X	
7. ¿Está ausente o defectuosa la cerca de protección?	X	
8. ¿Carece la tapa de un sistema seguro de cierre (candado, cadena, tornillo)?		X
9. ¿Carece el tanque de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? (critica)		X
10. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial) (critica)		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	4	
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>INTERMEDIO</b>	



**Cuadro A.3.2 Guía de Inspección SERSA Sistema de cloración del Pozo Cuchillo**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
<p>Fecha: 13-08-2018                      Nombre acueducto: Paquera                      Encargado del acueducto: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 89384630                      Nombre del funcionario: No aplica                      Fecha de construcción del acueducto: 2000 construyo pozo                      Fecha de instalación del actual sistema de cloración: 2010</p> <p>Tipo de Sistema de Cloración:                      Gas Cloro ( ) Electrólisis (x)                      Pastillas (Erosión) ( ) Otro ( )</p> <p>Tipo de Dosificación: Continua (x) Tiempos Programados( )</p>		
<b>II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en el sistema de cloración</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Se carece de una zona/caseta debidamente acondicionada para la preparación y aplicación del cloro? (critica)		X
2. ¿Carece el acueducto de bitácora de la dosificación del cloro? (critica)	X	
3. ¿Carece el operario de la capacitación necesaria para la preparación y aplicación de la cloración? (critica)		X
4. ¿Se carece del equipo de protección necesaria para el personal operativo del sistema de cloración? (critica)	X	
5. ¿Se carece del equipo para la medición de cloro residual		X
6. ¿Se carece de registros de la concentración y del caudal de la solución de cloro preparada y aplicada? (critica)	X	
7. ¿Se carece de registros de los niveles de cloro residual en tanque(s) de almacenamiento?	X	
8. ¿Se carece de registros de caudal del agua a ser clorada (caudal que ingresa al tanque donde se homogeniza el cloro)?		X
9. ¿Se carece de mantenimiento periódico del sistema de cloración?		X
10. Se carece de registros de consumo de cloro día/semana/mes/año	X	
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Nivel de riesgo identificado (Número de X)</b> Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>ALTO</b>	


**Cuadro A.3.3 Guía de Inspección SERSA Sistema de cloración del Pozo Laberinto**

I-) INFORMACION GENERAL		
<p>Fecha: 14 agosto 2018                      Nombre acueducto: Paquera (Sistema Laberinto)                      Encargado: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: No aplica                      Fecha de construcción del acueducto: 2007                      Fecha de instalación del actual sistema de cloración: 2007</p> <p>Tipo de Sistema de Cloración:                      Gas Cloro ( )    Electrólisis ( X)                      Pastillas (Erosión) ( )                      Otro ( )</p> <p>Tipo de Dosificación: Continua ( )    Tiempos Programados(X)</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo en el sistema de cloración	SI	NO
1. ¿Se carece de una zona/caseta debidamente acondicionada para la preparación y aplicación del cloro? (critica)		X
2. ¿Carece el acueducto de bitácora de la dosificación del cloro? (critica)	X	
3. ¿Carece el operario de la capacitación necesaria para la preparación y aplicación de la cloración? (critica)		X
4. ¿Se carece del equipo de protección necesaria para el personal operativo del sistema de cloración? (critica)	X	
5. ¿Se carece del equipo para la medición de cloro residual		X
6. ¿Se carece de registros de la concentración y del caudal de la solución de cloro preparada y aplicada? (critica)	X	
7. ¿Se carece de registros de los niveles de cloro residual en tanque(s) de almacenamiento?	X	
8. ¿Se carece de registros de caudal del agua a ser clorada (caudal que ingresa al tanque donde se homogeniza el cloro)?	X	
9. ¿Se carece de mantenimiento periódico del sistema de cloración?		X
10. Se carece de registros de consumo de cloro día/semana/mes/año	X	
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	6	4
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>ALTO</b>	



## APÉNDICE 4: GUÍAS DE INSPECCIÓN SERSA: LÍNEA DE CONDUCCIÓN

**Cuadro A.4.1 Guía de Inspección SERSA Línea de conducción Tanque de Almacenamiento Guarial**

I-) INFORMACION GENERAL	
<p>Fecha: 13/08/2018                      Nombre acueducto: Paquera                      Encargado: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: no aplica                      Conducción del tanque: Guarial                      Reparaciones por fugas por mes: 0-1                      Fecha de construcción de la red: 1995-1996                      Material de la tubería de conducción:                          PVC (X)                                      Hierro galvanizado ( )                          Mixto ( )                                      Otro ( )</p>	
II-) DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA	
Identificación de factores de riesgo en la línea de conducción	SI                      NO
1. ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? (crítica)	 X
2. ¿Se encuentra la línea de conducción descubierta, con riesgo de ser alterada?	X
3. ¿Se encuentra la línea de conducción en lugares colindantes sin el adecuado soporte? (critica)	X
4. ¿Se encuentran debidamente separadas las aguas provenientes de manantiales y nacientes con respecto a las aguas superficiales? (critica)	 X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de conducción?	 X
6. ¿La unión de la línea de conducción con la toma de agua o captación está asegurada contra posibles contaminaciones? (critica)	 X
7. ¿Carece de válvulas de control anterior a la entrada al tanque de almacenamiento?	 X
8. ¿Existen hongos, moho, etc en la superficie de las tuberías?	 X
9. ¿Se Carece de sistema para purgar y desfogue de aire en la tubería de conducción? (critica)	 X
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de conducción (planos o croquis)?	 X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	<b>2</b>
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>BAJO</b>



**Cuadro A.4.3 Guía de Inspección SERSA Línea de conducción Tanque de Almacenamiento Cuchillo**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
Fecha: 13/08/2018		
Nombre acueducto: Paquera		
Encargado: Roy Arias Gómez		
Teléfono: 87737391		
Nombre del funcionario: no aplica		
Conducción del tanque: Cuchillo		
Reparaciones por fugas por mes:0-1		
Fecha de construcción de la red: 2001		
Material de la tubería de conducción:		
PVC (X)	Hierro galvanizado ( )	
Mixto ( )	Otro ( )	
<b>II-) DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la línea de conducción</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? (crítica)		X
2. ¿Se encuentra la línea de conducción descubierta, con riesgo de ser alterada?		X
3. ¿Se encuentra la línea de conducción en lugares colindantes sin el adecuado soporte? (critica)		X
4. ¿Se encuentran debidamente separadas las aguas provenientes de manantiales y nacientes con respecto a las aguas superficiales? (critica)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de conducción?		X
6. ¿La unión de la línea de conducción con la toma de agua o captación está asegurada contra posibles contaminaciones? (critica)		X
7. ¿Carece de válvulas de control anterior a la entrada al tanque de almacenamiento?		X
8. ¿Existen hongos, moho, etc en la superficie de las tuberías?		X
9. ¿Se Carece de sistema para purgar y desfogue de aire en la tubería de conducción? (critica)		X
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de conducción (planos o croquis)?		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	0	10
<b>Nivel de riesgo identificado (Número de X)</b> Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	NULO	




**Cuadro A.4.3 Guía de Inspección SERSA Línea de conducción Tanque de Almacenamiento Laberinto**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
Fecha: 8/01/2019		
Nombre acueducto: Paquera		
Encargado: Roy Arias Gómez		
Teléfono: 87737391		
Nombre del funcionario: No aplica		
Conducción del tanque: Laberinto		
Reparaciones por fugas por mes: 0-1		
Fecha de construcción de la red: 2007		
Material de la tubería de conducción:		
PVC ( )                      Hierro galvanizado ( )		
Mixto ( )                      Otro ( )		
<b>II-) DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la línea de conducción</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? (crítica)		X
2. ¿Se encuentra la línea de conducción descubierta, con riesgo de ser alterada?		X
3. ¿Se encuentra la línea de conducción en lugares colindantes sin el adecuado soporte? (crítica)		X
4. ¿Se encuentran debidamente separadas las aguas provenientes de manantiales y nacientes con respecto a las aguas superficiales? (crítica)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de conducción?		X
6. ¿La unión de la línea de conducción con la toma de agua o captación está asegurada contra posibles contaminaciones? (crítica)		X
7. ¿Carece de válvulas de control anterior a la entrada al tanque de almacenamiento?		X
8. ¿Existen hongos, moho, etc en la superficie de las tuberías?		X
9. ¿Se Carece de sistema para purgar y desfogue de aire en la tubería de conducción? (crítica)		X
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de conducción (planos o croquis)?		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	0	10
<b>Nivel de riesgo identificado (Número de X)</b> Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>NULO</b>	

## APÉNDICE 5: GUÍAS DE INSPECCIÓN SERSA: LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN

Cuadro A.5.1 Guía de Inspección SERSA línea de distribución Cuchillo

I-) INFORMACION GENERAL		
<p>Fecha: 13-8-2018                      Nombre acueducto: Paquera (Sistema Cuchillo)                      Encargado: Roy Arias Gómez                      Teléfono: 87737391                      Nombre del funcionario: No aplica</p> <p>Reparaciones por fugas por mes: 2                      Fecha de construcción de la red: 2001</p> <p>Material de la tubería de distribución:                      PVC (X)                                      Hierro galvanizado ( )                      Mixto ( )                                      Otro ( X ) Polietileno</p>		
II-) DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo en la línea de distribución	SI	NO
1. ¿Existen uniones ilícitas que pongan en riesgo la calidad del agua en la red de distribución? (crítica)		X
2. ¿Se carece de micromedidores?		X
3. ¿No se realizan pruebas periódicas de cloro residual en la red de distribución? (crítica)		X
4. ¿Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución? (crítico)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?		X
6. ¿Se carece de válvulas de control de presiones y para realizar reparaciones en la red de distribución sin necesidad de quitar todo el servicio de agua a la comunidad?		X
7. ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? (crítica)		X
8. ¿Se Carece de sistema para purgar en la tubería de distribución?		X
9. ¿Existe conexiones cruzadas de red de aguas negras con la red de distribución de agua potable? (critica)		X
10. ¿Se carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
<b>Nivel de riesgo identificado (Número de X)</b> Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	<b>NULO</b>	


**Cuadro A.5.2 Guía de Inspección SERSA línea de distribución Paquera**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
Fecha: 9/01/2019		
Nombre acueducto: Paquera (Sistema Paquera)		
Encargado: Roy Arias Gómez		
Teléfono: 87737391		
Nombre del funcionario: No aplica		
Reparaciones por fugas por mes: 2		
Fecha de construcción de la red: 1991		
Material de la tubería de distribución:		
PVC ( <input checked="" type="checkbox"/> )                      Hierro galvanizado ( <input type="checkbox"/> )		
Mixto ( <input type="checkbox"/> )                              Otro ( <input type="checkbox"/> )		
<b>II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la línea de distribución</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Existen uniones ilícitas que pongan en riesgo la calidad del agua en la red de distribución? (critica)		X
2. ¿Se carece de micromedidores?		X
3. ¿No se realizan pruebas periódicas de cloro residual en la red de distribución? (critica)		X
4. ¿Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución? (crítico)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?		X
6. ¿Se carece de válvulas de control de presiones y para realizar reparaciones en la red de distribución sin necesidad de quitar todo el servicio de agua a la comunidad?		X
7. ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? (crítica)		X
8. ¿Se Carece de sistema para purgar en la tubería de distribución?		X
9. ¿Existe conexiones cruzadas de red de aguas negras con la red de distribución de agua potable? (critica)		X
10. ¿Se carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	0	10
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	NULO	

**Cuadro A.5.3 Guía de Inspección SERSA línea de distribución Laberinto**

<b>I-) INFORMACION GENERAL</b>		
Fecha: 8/01/2019 Nombre acueducto: Paquera (Sistema Laberinto) Encargado: Roy Arias Gómez Teléfono: 87737391 Nombre del funcionario: no aplica  Reparaciones por fugas por mes: 2 Fecha de construcción de la red: 2007  Material de la tubería de distribución: PVC ( <input checked="" type="checkbox"/> )                      Hierro galvanizado (   ) Mixto (   )                                  Otro (   )		
<b>II-) DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>Identificación de factores de riesgo en la línea de distribución</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Existen uniones ilícitas que pongan en riesgo la calidad del agua en la red de distribución? (crítica)		X
2. ¿Se carece de micromedidores?		X
3. ¿No se realizan pruebas periódicas de cloro residual en la red de distribución? (crítica)		X
4. ¿Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución? (crítico)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?		X
6. ¿Se carece de válvulas de control de presiones y para realizar reparaciones en la red de distribución sin necesidad de quitar todo el servicio de agua a la comunidad?		X
7. ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? (crítica)		X
8. ¿Se Carece de sistema para purgar en la tubería de distribución?	X	
9. ¿Existe conexiones cruzadas de red de aguas negras con la red de distribución de agua potable? (crítica)		X
10. ¿Se carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?		X
<b>TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")</b>	1	9
<b>Nivel de riesgo identificado</b> (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		<b>BAJO</b>

## APÉNDICE 6: FORMULARIO UNIFICADO

		Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados Subgerencia Gestión de Sistemas Comunes		<h3>Ponderación de Variables para Categorización</h3>				
Nombre de la Organización Comunal			Asociación Administradora del Acueducto Rural de Paquera Centro de Puntarenas			Código ID Prestador (N°SAGA)	2525	
Eje Temático	Código FU	Variables Ponderadas		Puntaje Total	Opción elegida	Respuesta Seleccionada	Puntaje Obtenido	
<b>Gestión Administrativa Financiera</b>	IPS 8	1	Convenio de Delegación	10,	b	b. Si	10,0	
	GAF 1a	2	Plan de Trabajo Anual	2	c	c. Si	2,0	
	GAF 2a	3	Libro de Actas Junta Directiva	1	B	b. Desactualizado	0,5	
	GAF 2b	4	Libro de Actas Asamblea	1	C	c. Al día	1,0	
	GAF 2c	5	Libro de Socios	1	C	c. Al día	1,0	
	GAF 6c	6	Fontanero	3	3	c. Fontanero	3,0	
	GAF 6e	7	Servicios de Contaduría	1	1	e. Contador	1,0	
	GAF 7	8	Estados financieros al último trimestre	1	c	c. Al día	1,0	
	GAF 12	9	Custodia de ingresos	1	c	c. Cta Bancaria de ASADA	1,0	
	GAF 13	10	Respaldos de información Financiera	1	C	c. Medios Electrónicos	1,0	
	GAF 14	11	Estados Financieros enviados a AyA	1	b	b. Si	1,0	
	GAF 18	12	Bodega de materiales para operación y mantenimiento	1	d	d. Bodega	1,0	
	GAF 24	13	Sistemas de gestión para la ASADAS	1	d	d. Software	1,0	
	<b>Total Gestión Administrativa</b>				<b>25</b>			<b>25</b>
<b>Gestión Comercial</b>	GCO 1	1	Disponibilidad de agua para nuevos servicios	1	b	b. Si	1,0	
	GCO 6	2	Micromedición instalada	1	d	d. > 75% y <= 100%	1,0	
	GCO 8	3	Macromedición existente	1	b	b. Si	1,0	
	GCO 13	4	Frecuencia de la lectura de hidrometros	1	c	c. Mensual	1,0	
	GCO 15	5	Sistema de Facturación	1	c	c. Sistema Electrónico	1,0	
	GCO 22	6	Sistema de Recaudación	1	c	c. Electrónica	1,0	
	GCO 19	7	Morosidad mensual	1	b	b. < 10%	1,0	
	GCO 26	8	Aplicación de tarifa vigente de ARESEP	5	B	b. Si	5,0	
	GCO 33	9	Local para atención de Usuarios	2	d	d. Oficina	2,0	
	GCO 35	10	Seguimiento de quejas.	1	b	b. Si	1,0	
<b>Total Gestión Comercial</b>				<b>15</b>			<b>15</b>	
<b>Gestión Comunal</b>	GCOM 2	1	Porcentaje de abonados que son socios	3	b	b. >0%, <50%	1,0	
	GCOM 3	2	Socios en las Asambleas	3	b	b. >0%, <50%	1,0	
	GCOM 4	3	Plan de Afiliación	3	b	b. Si	3,0	
	GCOM 8	4	Campañas con escuelas/colegios	3	b	b. Si	3,0	
	GCOM 9	5	Plan de Transparencia y Rendición de cuentas	3	c	c. En Ejecución	3,0	
<b>Total Gestión Comunal</b>				<b>15</b>			<b>11</b>	
<b>Gestión Recurso Hídrico</b>	GRH 2	1	Áreas de protección definidas	4	b	b. No	0,0	
	GRH 3	2	Programas de Adaptación Cambio Climático	2	a	a. Si	2,0	
	GRH 4	3	Balace hídrico	4	a	a. Si	4,0	
	GRH 6	4	Programas de educación ambiental en la comunidad?	2	a	a. Si	2,0	
	GRH 14	5	Inscripción de caudal en MINAE	3	a	a. Si	3,0	
<b>Total Gestión Recurso Hídrico</b>				<b>15</b>			<b>11</b>	
<b>Gestión de Sistemas de Agua</b>	<b>I. Sistema de Agua Potable</b>			<b>28</b>			<b>23</b>	
	GSAP 5	1	Manual de mantenimiento y operación del sistema	2	B	b. No	0,0	
	GSAP 78	2	Frecuencia de interrupciones del servicio	2	c	c. 2 veces/ Año	1,5	
	GSAP 76	3	Mediciones de presión	2	a	a. Si	2,0	
	GSAP 23	4	Plan de Gestión de Riesgos	2	b	b. No	0,0	
	GSAP 27	5	Calidad del agua – Periodicidad de los muestreos	3	c	c. Semestral	2,0	
	GSAP 29	6	Calidad del agua – Cumplimiento del RCA	12	a	a. Si	12,0	
	GSAP 31	7	Calidad del agua – implementación de medidas correctivas	2		Si implementa	2,0	
	GSAP 32a	8	Calidad del agua – Sistema de Desinfección	3	a	a. Si	3,0	
	<b>III. Sistema de Hidrantes</b>			<b>2</b>			<b>2</b>	
	GSAH 97	1	Plan de instalación de hidrantes	1	a	a. Si	1,0	
GSAH 99	2	Contabilidad para hidrantes separada	1	a	a. Si	1,0		
<b>Total Gestión Sistemas de Agua</b>				<b>30</b>			<b>25</b>	
		<b>43</b>	<b>Total General</b>	<b>100</b>			<b>86</b>	

## APÉNDICE 7: ENCUESTA

### Encuesta Agua Potable, Saneamiento y Compromiso Comunal Ambiental y Salud

Este formulario tiene como objetivo obtener información sobre el funcionamiento de las comunidades que son abastecidas por la ASADA Paquera con respecto a los servicios de Agua potable y saneamiento.

La encuesta está a cargo de la estudiante de la carrera Ingeniería Ambiental Mónica Chavarría Villalobos. Su hogar ha sido seleccionado al azar y nos gustaría conocer su opinión sobre algunos aspectos. ¿Podría por favor responder esta encuesta que tiene una duración de 5 a 10 minutos aproximadamente?

Agradezco el tiempo brindado.

\*Obligatorio

#### 1. Nombre y apellido \*

---

#### 2. ¿A cuál Barrio pertenece? \*

*Marca solo una opción.*

- Isla Cedros
- Laberinto
- Barrio Órganos
- Paquera
- Pueblo Nuevo
- Salinas
- San Josecito
- Cuchillo
- Paquera Centro
- Pradera 1
- Pradera 2
- Puerto Paquera

#### 3. ¿Cuántas personas viven en su casa? \*

---

### Agua Potable

#### 4. ¿En su casa usted cuenta con un medidor para el agua? \*

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

#### 5. En su casa usted le da algún tipo de tratamiento al agua que consume \*

*Marca solo un óvalo.*

- No
- Filtro
- Cloración
- Se hierve
- Otro: \_\_\_\_\_



**13. ¿Ha detectado malos olores provenientes de aguas descompuestas cerca de su casa? \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

**14. El inodoro de su casa tiene un tamaño \***

*Marca solo una opción.*

- Convencional (instalado en los años 90s)
- Alto consumo (inodoros antiguos de tanque muy grande)
- Bajo consumo (instalados a partir del 2000)
- No sabe

**15. Usted ha notado que el inodoro tiende a fallar en \***

*Marca solo una opción.*

- Verano
- Invierno
- Todo el año
- Nunca falla

**16. Si tiene tanque séptico. ¿Dónde está localizado? \***

*Marca solo una opción.*

- Adelante de la vivienda
- Detrás de la vivienda
- A un lado de la vivienda
- No sabe
- No tengo

**17. ¿El tanque séptico, tiene área de drenaje? \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No
- No sabe

## **Gestión de residuos sólidos**

**18. Los papeles del sanitario los coloca en: \***

*Marca solo una opción.*

- Basurero que luego se recoge y se lleva camión municipal
- Inodoro
- Letrina
- Compost
- Entierra
- Lo quema
- Otro: \_\_\_\_\_

**19. ¿Qué hace los residuos sólidos que separa? \***

*Selecciona todos los que correspondan.*

- No separo materiales
- Los almaceno en el garaje o patio
- Los llevo a la municipalidad
- Los llevo a la escuela
- Los dono a campañas de reciclaje
- Los llevo a un centro de reciclaje
- Alguna persona se los lleva

**20. ¿Acostumbra reutilizar algunos materiales tales como cajas, bolsas, papeles, etc.? \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No



**21. Los residuos sólidos (ordinarios) en su casa son depositados en \***

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Camión municipal
- Recolección cambiión privado
- Entierran en el suelo
- Lo enviamos a un botadero
- Río o quebrada cercana
- Patio o lotes baldíos
- Se queman
- Otro:\_\_\_\_\_.

## Compromiso comunal ambiental y salud

**22. En su casa tiene recipientes desocupados que acumulen agua \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

**23. Alguna persona en su casa ha sufrido diarrea en los últimos seis meses \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

**24. Alguna persona en su casa ha sufrido vómitos en los últimos seis meses \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

**25. Según su opinión el principal problema ambiental en su comunidad es**

*Marca solo una opción.*

- Manejo de residuos sólidos
- Aguas residuales sin tratar
- Inundaciones
- Calidad de agua potable
- Disponibilidad de agua potable
- Otro o ninguno de los anteriores

**26. ¿Sabía que el agua potable que consume es suministrada por la ASADA Paquera? \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

**27. Con respecto a la ASADA Paquera cómo calificaría: (tome en consideración que 5 es muy bueno y 1 es muy malo) \***

*Marca solo una opción por fila.*

	5	4	3	2	1
El servicio recibido en cuanto a: cantidad, calidad, continuidad y atención de fugas	( )	( )	( )	( )	( )
La atención brindada por el personal	( )	( )	( )	( )	( )
La gestión del acueducto	( )	( )	( )	( )	( )

**28. ¿Usted participa activamente en asociaciones comunales? \***

*Marca solo una opción.*

- Sí
- No

## APÉNDICE 8: ANÁLISIS NIVEL PRIMERO (N1)

Cuadro A.8.1 Resultado análisis de Nivel Primero (N1) en red de distribución

Nombre del Sistema	Punto de Muestreo	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Temperatura (°C)	pH (valor pH)	Conductividad (µS/cm)	Color aparente (Pt-Co)	Turbiedad (UNT)	Coliforme fecal (NMP/100ml)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)
Paquera	Red 1	1,15	0,03	29,9	6,97	233,7	0	0,13	<2,2	<2,2
	Red 2	0,60	0,05	30,2	7,20	438,6	0	1,60	<2,2	<2,2
	Red 3	0,58	0,00	28,6	6,92	433,8	0	0,34	<2,2	<2,2
	Red 4	0,54	0,11	28,4	6,98	440,5	15	0,30	NA*	NA*
Cuchillo	Red 1	1,45	0,00	34,0	7,21	264,5	0	0,28	<2,2	<2,2
	Red 2	1,49	0,00	31,8	7,36	265,8	0	0,28	<2,2	<2,2
	Red 3	1,41	0,02	33,4	7,23	258,8	5	0,11	<2,2	<2,2

(\*) No se realizó Análisis Microbiológico

## APÉNDICE 9: RESULTADOS ANÁLISIS DEMANDA DE CLORO

Cuadro A.9.1 Resultado análisis demanda de cloro

N° Muestra	Naciente El Tigre			Pozo Laberinto			Pozo Paquera			Pozo Cuchillo		
	Cloro añadido (mg/l)	Cloro Residual libre (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)	Cloro añadido (mg/l)	Cloro Residual libre (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)	Cloro añadido (mg/l)	Cloro Residual libre (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)	Cloro añadido (mg/l)	Cloro Residual libre (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)
1	0,24	0,12	0,12	0,24	0,11	0,13	0,25	0,17	0,08	0,26	0,15	0,11
2	0,34	0,18	0,16	0,50	0,37	0,13	0,54	0,51	0,03	0,53	0,48	0,05
3	0,35	0,18	0,17	0,82	0,70	0,12	0,86	0,82	0,04	0,78	0,70	0,08
4	0,56	0,43	0,13	1,25	1,12	0,13	1,22	1,12	0,10	1,07	0,98	0,09
5	0,81	0,69	0,12	1,62	1,48	0,14	1,60	1,58	0,02	1,44	1,32	0,12
6	0,92	0,82	0,10	2,00	1,83	0,17	1,94	1,83	0,11	1,73	1,63	0,10
7	1,20	1,08	0,12	2,20	2,00	0,20	2,80	2,70	0,10	1,74	1,67	0,07
8	1,35	1,22	0,13	2,90	2,70	0,20	3,30	3,20	0,10	2,20	1,97	0,23
9	1,58	1,45	0,13	3,00	2,90	0,10	3,20	2,90	0,30	2,40	2,20	0,20
10	1,75	1,65	0,10	3,70	3,30	0,40	3,70	3,30	0,40	3,20	2,80	0,40
<b>Blanco</b>	1,82	1,73	0,09	3,20	2,70	0,50	3,30	2,70	0,60	2,50	2,30	0,20

## APÉNDICE 10: ANÁLISIS OFERTA Y DEMANDA

Cuadro A.10.1. Variables estadísticas de la dotación por sector abastecido (L/p/d)

Variables estadísticas	Cuchillo	Isla Cedros	Puerto Paquera	Laberinto	Órganos	Paquera centro	Paquera	Pueblo Nuevo	Pradera 1	Pradera 2	Salinas	San Josecito
Media	188,84	330,65	856,18	215,98	270,17	251,99	241,25	203,07	209,93	204,99	230,35	237,88
DE	50,29	172,74	296,93	36,87	52,68	45,99	40,93	50,04	28,89	25,64	41,74	40,90
Mediana	186,00	272,82	896,83	221,13	270,04	261,07	236,48	208,90	212,61	203,62	225,12	239,35
Moda	198,54	NA	NA	217,43	NA	NA	NA	232,70	220,84	NA	NA	270,67
Varianza	2459,09	29011,46	85719,86	1321,97	2698,36	2055,97	1628,42	2434,81	811,44	639,38	1693,68	1626,11
Nivel de confianza (95,0%)	16,43	56,43	97,00	12,05	17,21	15,02	13,37	16,35	9,44	8,38	13,63	13,36
Intervalo Inferior	172,42	274,22	759,18	203,94	252,96	236,96	227,88	186,72	200,49	196,62	216,71	224,53
Intervalo Superior	205,27	387,07	953,18	228,03	287,38	267,01	254,62	219,42	219,36	213,37	243,98	251,24

**Cuadro A.10.2. Promedio de población proyección para el distrito Paquera y la población abastecida por la ASADA Paquera, a partir del método geométrico, logarítmico y aritmético**

<b>Año</b>	<b>M. Geométrico</b>	<b>M. Logarítmico</b>	<b>M. Aritmético</b>	<b>Promedio población Distrito Paquera</b>	<b>Población del distrito abastecida por la ASADA</b>
2012	6766	6736	6756	6753	3238
2013	6848	6786	6827	6820	3270
2014	6930	6836	6897	6888	3303
2015	7014	6887	6967	6956	3335
2016	7098	6938	7038	7025	3368
2017	7184	6990	7108	7094	3402
2018	7270	7042	7178	7164	3435
2019	7358	7094	7249	7234	3469
2020	7447	7147	7319	7304	3503
2021	7537	7200	7389	7376	3537
2022	7628	7254	7460	7447	3571
2023	7721	7308	7530	7520	3606
2024	7814	7362	7601	7592	3641
2025	7909	7417	7671	7666	3676
2026	8005	7472	7741	7740	3711
2027	8102	7528	7812	7814	3747
2028	8201	7584	7882	7889	3783
2029	8301	7640	7952	7964	3819
2030	8402	7697	8023	8041	3855
2031	8504	7754	8093	8117	3892
2032	8608	7812	8163	8194	3929
2033	8713	7870	8234	8272	3967
2034	8819	7929	8304	8351	4004
2035	8927	7988	8374	8430	4042
2036	9036	8047	8445	8509	4080
2037	9147	8107	8515	8590	4119
2038	9259	8167	8585	8671	4158
2039	9372	8228	8656	8752	4197
2040	9487	8289	8726	8834	4236
2041	9603	8351	8796	8917	4276
2042	9721	8413	8867	9000	4316
2043	9841	8476	8937	9085	4356
2044	9962	8539	9008	9169	4397
2045	10084	8602	9078	9255	4438

**Cuadro A.10. 3. Caudal medio diario (Qmd), caudal máximo diario (QMD), caudal máximo horario (QMH) proyectados anualmente hasta el año 2045 para cada uno de los sistemas**

Año	Sistema Integrado			Sistema Cuchillo			Sistemas Paquera y Laberinto		
	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)	Qmd (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
2012	8,90	10,68	19,22	0,98	1,18	2,12	7,93	9,51	17,12
2013	8,99	10,78	19,41	0,99	1,19	2,14	8,01	9,61	17,29
2014	9,08	10,89	19,60	1,00	1,20	2,16	8,09	9,70	17,47
2015	9,17	11,00	19,80	1,01	1,21	2,18	8,17	9,80	17,64
2016	9,26	11,11	19,99	1,02	1,22	2,20	8,25	9,90	17,81
2017	9,35	11,22	20,19	1,03	1,24	2,22	8,33	9,99	17,99
2018	9,44	11,33	20,39	1,04	1,25	2,25	8,41	10,09	18,16
2019	9,53	11,44	20,59	1,05	1,26	2,27	8,49	10,19	18,34
2020	9,63	11,55	20,79	1,06	1,27	2,29	8,57	10,29	18,52
2021	9,72	11,66	20,99	1,07	1,29	2,31	8,66	10,39	18,70
2022	9,81	11,78	21,20	1,08	1,30	2,34	8,74	10,49	18,88
2023	9,91	11,89	21,40	1,09	1,31	2,36	8,83	10,59	19,07
2024	10,00	12,01	21,61	1,10	1,32	2,38	8,91	10,70	19,25
2025	10,10	12,12	21,82	1,11	1,34	2,40	9,00	10,80	19,44
2026	10,20	12,24	22,03	1,12	1,35	2,43	9,09	10,90	19,63
2027	10,30	12,36	22,24	1,13	1,36	2,45	9,17	11,01	19,81
2028	10,40	12,47	22,45	1,15	1,37	2,47	9,26	11,11	20,00
2029	10,49	12,59	22,67	1,16	1,39	2,50	9,35	11,22	20,20
2030	10,60	12,71	22,89	1,17	1,40	2,52	9,44	11,33	20,39
2031	10,70	12,84	23,10	1,18	1,41	2,55	9,53	11,43	20,58
2032	10,80	12,96	23,32	1,19	1,43	2,57	9,62	11,54	20,78
2033	10,90	13,08	23,54	1,20	1,44	2,59	9,71	11,65	20,98
2034	11,00	13,20	23,77	1,21	1,45	2,62	9,80	11,76	21,17
2035	11,11	13,33	23,99	1,22	1,47	2,64	9,90	11,88	21,38
2036	11,21	13,46	24,22	1,24	1,48	2,67	9,99	11,99	21,58
2037	11,32	13,58	24,45	1,25	1,50	2,69	10,08	12,10	21,78
2038	11,43	13,71	24,68	1,26	1,51	2,72	10,18	12,21	21,99
2039	11,53	13,84	24,91	1,27	1,52	2,74	10,27	12,33	22,19
2040	11,64	13,97	25,14	1,28	1,54	2,77	10,37	12,44	22,40
2041	11,75	14,10	25,38	1,29	1,55	2,80	10,47	12,56	22,61
2042	11,86	14,23	25,62	1,31	1,57	2,82	10,57	12,68	22,82
2043	11,97	14,36	25,86	1,32	1,58	2,85	10,66	12,80	23,04
2044	12,08	14,50	26,10	1,33	1,60	2,88	10,76	12,92	23,25
2045	12,20	14,63	26,34	1,34	1,61	2,90	10,86	13,04	23,47

## APÉNDICE 11: FORMULAS PARA DISEÑO FLA

Para el diseño del FLA se utilizó la siguiente secuencia de fórmulas:

- a) Caudal de ingreso a cada orificio:

$$Q_o = A_o * V_o$$

Donde,

$Q_o$	Caudal ingreso a cada orificio
$A_o$	Área de cada orificio
$V_o$	velocidad de cada orificio

- b) Número de orificios:

$$\text{Número de orificios} = Q_d / Q_o$$

Donde,

$Q_d$	Caudal de diseño
-------	------------------

- c) Caudal de ingreso a cada lateral ( $q_L$ ):

$$q_L = \text{Número de orificios} * Q_o$$

- d) Área del lateral

$$A_L = q_L / V_L$$

Donde,

$A_L$	Área del tubo lateral
$V_L$	velocidad en lateral

- e) Diámetro interno ( $D_{int}$ ) de la tubería del lateral:

$$D_{int} = \left( \frac{4 * A_L}{\pi} \right)^{0.5}$$

- f) Velocidad en el lateral:

$$V_L = \left( \frac{q_L}{A_L} \right)$$

Se comprueba que sea menor a 0,30 m/s (OPS & CEPIS, 2005)

g) Área de colector principal:

$$A_c = \left( \frac{Q_f}{V_f} \right)$$

Donde,

$Q_f$	Caudal de filtración
$V_f$	velocidad filtración
$A_c$	Área del colector

h) Diámetro interno ( $D_{int}$ ) de la tubería del colector:

$$D_{int} = \left( \frac{4 * A_c}{\pi} \right)^{0.5}$$

i) Velocidad del colector ( $V_c$ ):

$$V_c = \left( \frac{Q_d}{A_c} \right)$$

j) Cálculo del vertedero (Sotelo Ávila, 1997):

$$Q = \frac{8}{15} * C_d * \sqrt{2 * g} * \left( \text{tg} \frac{\beta}{2} \right) * H^{\frac{5}{2}}$$

Donde,

$C_d$	Coficiente de uniformidad
$g$	Aceleración de la gravedad
$\beta$	Ángulo del vertedero
$H$	Altura carga de agua

Se utilizó el cuadro A.11.1 para seleccionar el  $C_d$

**Cuadro A.11.1 Recomendaciones de coeficiente de uniformidad para cada ángulo.**

Angulo ( $\beta$ )	$C_d$
15°	0,52 -0,75
30°	0,59-0,72
45°	0,59-0,69
60°	0,50-0,54



Continuación cuadro A.11.1

Angulo ( $\beta$ )	$C_d$
90°	0,50-0,60

Fuente: (Lippi, 2016)

k) Pérdida de carga en la arena lecho:

Se utilizó la ecuación de Fair y Hatch (Cristóbal, 2005), para calcular las pérdidas de carga en el lecho filtrante y el lecho de soporte, utilizando en la siguiente ecuación los factores del cuadro A.11.2.

$$h_{f_{lecho}} = f * \frac{L * \circ}{g} * v * \frac{(1 - P_o)^2}{(P_o)^3} * \left( \frac{6}{C_e * D_c} \right)^2$$

Donde,

$h_f$	Pérdida de carga (cm)
$f$	Coficiente de Kozeny
$L$	Altura del lecho (cm)
$\circ$	Viscosidad cinemática del agua (cm <sup>2</sup> /s)
$g$	Aceleración de la gravedad (cm/s <sup>2</sup> )
$v$	Velocidad de filtración (cm/s)
$P_o$	Porosidad
$C_e$	Coficiente de esfericidad
$D_c$	Diámetro de la arena (cm)

**Cuadro A.11.2. Factores de esfericidad y forma de los materiales granulares.**

Descripción	Esfericidad ( $C_e$ )	Porosidad ( $P_o$ )
Esféricos	0,95	0,355
Desgastados	0,94	0,375
Redondeados	0,82	0,400
Agudos	0,81	0,415
Angulares	0,78	0,430
triturados	0,70	0,480

Fuente:(Cristóbal, 2005)

l) Perdidas en los orificios (Cristóbal, 2005):

$$h_{f_{orificio}} = k * \frac{(V_o)^2}{2 * g}$$

Y,

$$k = \frac{1}{(C_v)^2} - 1$$

Donde,

$V_o$	velocidad de cada orificio
$K$	Coefficiente de perdida
$C_v$	Coefficiente de velocidad (Cuadro A.11.3)
$V_o$	velocidad de cada orificio
$g$	Aceleración de la gravedad

Se utilizó el cuadro A.11.3 para seleccionar el coeficiente de velocidad

**A.11.3. Consideraciones para selección de coeficiente de velocidad ( $C_v$ )**

Orificio	$C_v$	Consideración
Bordes afilados	0,99	Casi no hay rozamiento
Bordes no afilados	<0,99	Con mucho rozamiento generalmente $C_v=0,75$

Fuente:(Cristóbal, 2005)

m) Pérdidas por accesorios (Ponce, 2006):

$$h_{f_{accesorios}} = k * \frac{(V_c)^2}{2 * g}$$

Donde,

$h_f$	Perdida de carga por accesorio
$k$	Coefficiente de perdida para accesorios
$V_c$	Velocidad del agua en el colector

n) Total de pérdidas de carga:

$$H_t = H_a + h_{flecho} + h_{f_{orificio}} + h_{f_{accesorios}}$$

## APÉNDICE 12: MEMORIA DE CÁLCULO DISEÑO FLA

### PARÁMETROS DE DISEÑO:

<b>Caudal de la planta (Qt) =</b>		<b>2,000</b>	<b>lts/seg</b>
Q por filtrar(Qf) =	<b>1,00 * Qf</b>	<b>2,000</b>	<b>lts/seg</b>
		<b>0,002</b>	<b>m3/seg</b>
Velocidad de filtración (Vf) = 0.10 - 0.40 m/h			
Velocidad adoptada = según cuadro 4.6	<b>0,400</b>	<b>m/h</b>	
	<b>1,11E-04</b>	<b>m/seg</b>	
	<b>0,011111111</b>	<b>cm/seg</b>	

### CÁLCULO DEL AREA SUPERFICIAL

$$As = L \cdot a$$

Donde:

L = largo del filtro (m)

a = ancho del filtro (m)

POR LO TANTO EL O LOS FILTROS TENDRÁN LAS SIGUIENTES DIMENSIONES			
ÁREA DEL FILTRO	A = L * a	L =	<b>6,00 m</b>
		a =	<b>3,00 m</b>
		As =	<b>18 m<sup>2</sup></b>

#### SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUA FILTRADA

Velocidad de filtración =		<b>1,11E-04 m/seg</b>
Caudal filtrado QF =	A x Vf	
	A = Area de filtración	<b>18,00 m<sup>2</sup></b>
	QF =	<b>2,000E-03 m<sup>3</sup>/s</b>

DIÁMETRO DE CADA ORIFICIO (ADOPTADO) =	ORIFICIO D =	<b>13 mm</b>
	Área de cada orificio Ao =	<b>1,33E-04 m<sup>2</sup></b>

VELOCIDAD EN CADA ORIFICIO (Vo) =	<b>0,14 m/seg</b>	→ ADOPTADA
-----------------------------------	-------------------	------------

EL CAUDAL QUE INGRESA EN CADA ORIFICIO (Qo) SERÁ:	
$Qo' = Ao \times Vo$	
$Qo' =$	<b>1,86E-05 m<sup>3</sup>/seg.</b>

Nº de orificios = CAUDAL FILTRADO / CAUDAL DE CADA ORIFICIO			
Nº de orificios =	$QF / Qo'$		
Nº de orificios =	<b>107,63</b>	POR TANTO: SE ASUME ----->>>>	<b>112 ORIFICIOS</b>

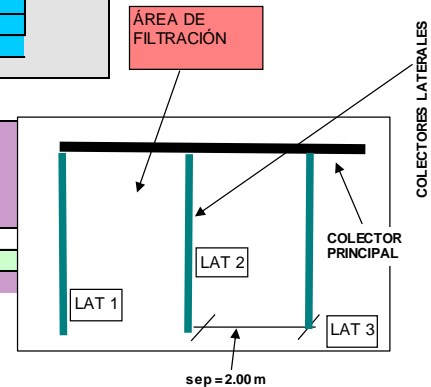
#### ASUMIMOS 3 LATERALES: CON DOS ORIFICIOS

SEPARACIÓN DE ORIFICIOS (NORMA= 0.10 -0.30 m) =	<b>0,15 m</b>	→ ASUMIDO
Distancia entre recolectores o laterales (NORMA = 1 a 2 m) =	<b>2,00 m</b>	→ ASUMIDO

Nº de Laterales = 3, el colector principal tiene 3 laterales		
Long. Lateral Nº 1 =	2,80 * 1	2,80 m
Long. Lateral Nº 2 =	2,80 * 1	2,80 m
Long. Lateral Nº 3 =	2,80 * 1	2,80 m
Longitud Total (3 laterales)=		8,40 m

Espacio entre orificios =	<b>0,15 m</b>
Nº de orificios = (Long. Total / espacios entre orificios) * 2 orificios c / ado	
Nº de orificios =	<b>112 orificios</b>

CAUDAL EN CADA ORIFICIO			
qo = caudal diseño / Nº de orificios			
Q diseño de filtro =	<b>2</b>	<b>lts/seg</b>	<b>0,002 m<sup>3</sup>/seg</b>
qo =	<b>0,017857</b>	<b>lts/seg</b>	<b>0,000017857 m<sup>3</sup>/seg</b>





**MATERIAL FILTRANTE**

POSICIÓN EN EL LECHO	ESPESOR DE CAPA EN m.	DIÁMETRO m.m.
Borde libre	0,20 m	
Película de agua	0,75 m	
Arena de filtro	0,80	0,15 - 0,35
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD < 3		
<b>Capa de soporte:</b>		
Gravilla	0,05	3,5
Grava	0,05	8,5
Grava	0,15	16,0
Altura del filtro	2,00 m	

**CÁLCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA**

**1.- EN LA ARENA**

Ecuación Fair y Hatch

$$h_f = f * \frac{L * v}{g} * v * \frac{(1 - P_o)^2}{(P_o)^3} * \left( \frac{6}{C_e * D_c} \right)^2$$

Hf = Pérdida de carga, m	
f = coeficiente de Kozeny	5,00
L = Altura del lecho (cm)	80 cm
g = gravedad (cm/s <sup>2</sup> )	981 cm/s <sup>2</sup>
v = viscosidad cinemática cm <sup>2</sup> /s (30°)	0,008 cm <sup>2</sup> /s
Po = Porosidad	0,355
Ce = Coeficiente de esfericidad	0,95
Dc = diámetro de la arena cm	0,03
V = velocidad de filtración cm/s	0,011111111

Pérdida de carga en arena Ha = 14,94 cm  
0,15 m

Item	Descripción	Esfericidad (Ce)	Factor de Forma (s)	Porosidad (Po)
1	Esféricos	0,95	6	0,355
2	Desgastados	0,94	6,1	0,375
3	Redondeados	0,82	6,4	0,400
4	Agudos	0,81	7,4	0,415
5	Angulares	0,78	7,7	0,430
6	Triturados	0,7	8,5	0,480

Fuente: (Cristóbal, 2005)

**2.- EN LA GRAVA**

$$h_f = f * \frac{L * v}{g} * v * \frac{(1 - P_o)^2}{(P_o)^3} * \left( \frac{6}{C_e * D_c} \right)^2$$

En donde:

Hf = Pérdida de carga, m	
f = coeficiente de Kozeny	5,00
L = Altura del lecho (cm)	cm
g = gravedad (cm/s <sup>2</sup> )	981 cm/s <sup>2</sup>
v = viscosidad cinemática cm <sup>2</sup> /s (30°)	0,008 cm <sup>2</sup> /s
Po = Porosidad	0,4
Ce = Coeficiente de esfericidad	0,82
Dc = diámetro de la grava cm	
V = velocidad de filtración cm/s	0,011111111

**CAPAS SELECCIONADAS DEL LECHO DE SOPORTE**

<b>TERCERA CAPA</b>			
L (espesor de la capa) =	0,05 m =	5,0 cm	
d (diámetro efectivo grava) =	3,50 mm =	0,35 cm	
hf3 =	0,006 cm		

<b>SEGUNDA CAPA</b>			
Lo (espesor de la capa) =	0,05 m =	5,0 cm	
d (diámetro efectivo grava) =	8,50 mm =	0,85 cm	
hf2 =	0,001 cm		

<b>PRIMERA CAPA</b>			
Lo (espesor de la capa) =	0,15 m =	15,0 cm	
d (diámetro efectivo grava) =	16,00 mm =	1,6 cm	
hf1 =	0,001 cm		

ht grava = hf3 + hf2 + hf1	
Ht soporte =	0,007 cm 7,31E-05 m
Ht = ha + ht soporte =	14,945 cm 0,149 m

### 3.- EN LOS ORIFICIOS

$$hf_{\text{orificio}} = k * \frac{(V_0)^2}{2 * g}$$

$$k = \frac{1}{(C_v)^2} - 1$$

Item	Orificio	Cv	Consideración
1	Bordes afilados	0,99	Casi no hay rozamiento
2	Bordes no afilados	<0,99	Con mucho rozamiento generalmente Cv=0,75

Observación: Cv = 1 (No hay rozamiento, caso ideal)

Fuente: (Cristóbal, 2005)

Donde:

Qo = Caudal de cada orificio	0,0000178571 m3/seg
Cv para orificios =	0,75
Ao = Area de cada orificio =	1,327E-04 m2
g = aceleración de la gravedad =	9,81 m/seg2
Qf = Caudal a filtrarse =	2,000 lit/seg
# total de orificios =	112
k	0,78

Ho =	0,000717506 m =	0,072 cm.
Hot =	0,080 m =	8,036 cm.

### 4.- PÉRDIDA POR ENTRADA Y SALIDA EN TUBERÍA DEL FILTRO

$$hf = k * \frac{V_e}{2g}$$

Entrada K =	0,5
hfe =	0,002 m
Salida K =	1,0
hfs =	0,003 m
hf = hfe+hfs	0,005 m

### PÉRDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS

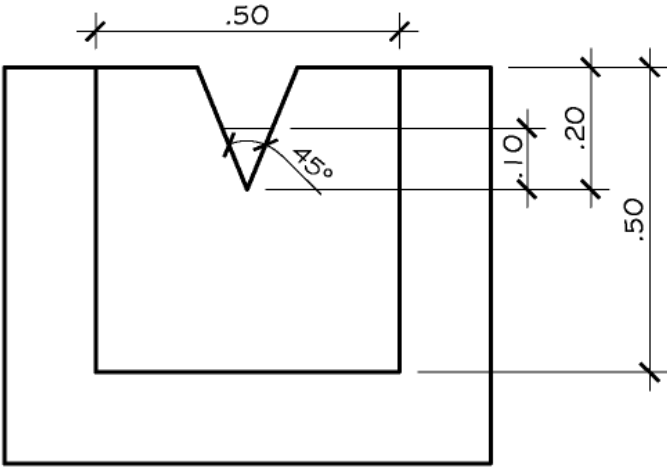
K es sumatoria de todos los accesorios

ACCESORIO	k
Válvula de compuerta	0,25
Codo 90°	0,9
Tees	0,15
Una entrada	0,5
Una salida	1
K Sumatoria =	2,95
hf-e-s	0,009 m

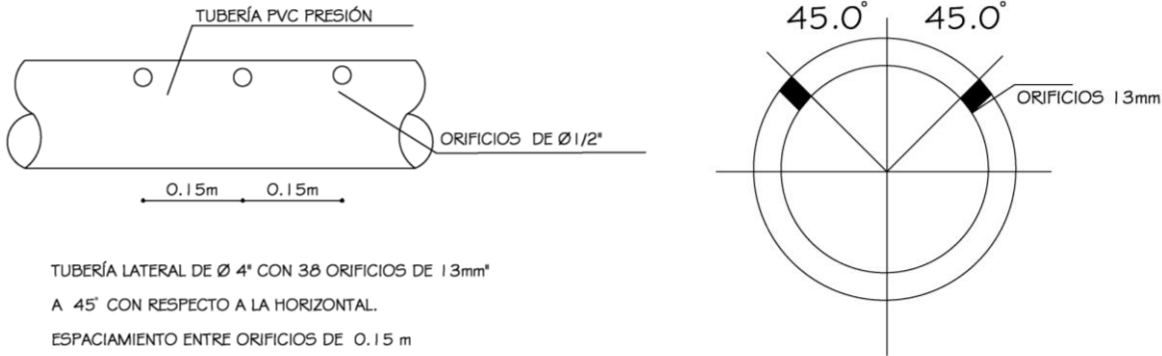
### PÉRDIDA TOTAL DE CARGA :

HT = Ht + Hot	
Por accesorios entrada y salida	0,014 m
Se adopta un valor aproximado de	* VER NOTA:
Ha, e, s (*NOTA: Se puede asumir un valor de 10 cm de pérdida por acces. entrada y salida), en este caso se calculó dichas pérdidas	
<b>Pérdida Total</b>	
Ht = Ha + HTsoporte +Ho +Ha, e,s	0,244 m
	24,40 cm

**APÉNDICE 13: DISEÑO FILTRO LENTO ARENA**



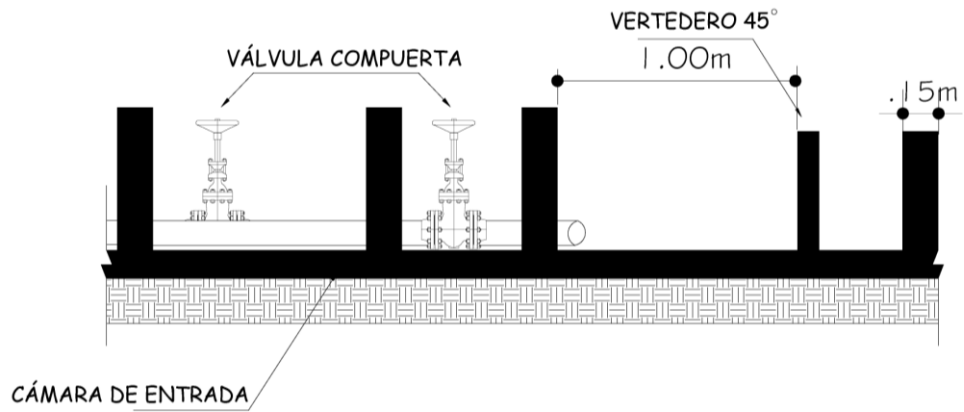
**Figura A.13.1 Detalle vertedero triangular de 45°**



TUBERÍA LATERAL DE Ø 4" CON 38 ORIFICIOS DE 13mm"  
 A 45° CON RESPECTO A LA HORIZONTAL.  
 ESPACIAMIENTO ENTRE ORIFICIOS DE 0.15 m

MÚLTIPLE DIFUSOR LATERAL  
 (SIN ESCALA)

**Figura A.13.2. Detalle de orificios de la tubería lateral**



**Figura A.13.3. Detalle de la cámara de entrada al filtro lento de arena**

**Cuadro A.13.1. Resumen de pérdidas de carga en el FLA**

Componente	Pérdida (cm)
Arena (0,3 mm)	14,938
Gravilla (3,5 mm)	0,006
Grava (8,5 mm)	0,001
Grava (16 mm)	0,001
Orificios	8,036
Entrada y salida en tubería	0,478
Pérdida por accesorios	0,940
<b>Total</b>	<b>24,40</b>



## **ANEXOS**



## ANEXO 1: DETERMINACIÓN DEMANDA CLORO

Para determinar la demanda de cloro se requirió de los siguientes materiales y reactivos:

- Once beakers
- Once agitadores de vidrio
- Once sobres de cloro libre
- Once sobres de cloro total
- Papel aluminio
- Pipeta de 50 ml
- 1 balón aforado de 1000 mL
- 1 balón aforado de 100 mL
- Medidor de cloro con 2 celdas
- pH-metro Marca Hanna
- Micropipeta de 0,1-1 mL
- Micropipeta de 100-1000  $\mu$ L
- Puntas
- Agua destilada
- Hipoclorito de sodio
- Cronómetro Marca Casio

Para la preparación de la disolución madre se tomó una alícuota de 5 mL de cloro comercial, se agregó a un balón aforado y se diluyó con agua destilada hasta los 1000 mL. Una vez tenido esta dilución, se tomó una alícuota de 0,5 mL y se agregó a un balón de 100 mL, este se aforó con agua destilada igualmente. Teniendo la dilución lista se calculó en el medidor de cloro la concentración por triplicado, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \text{ (ec.A.1.1)}$$

Donde,

$C_i$	Concentración inicial
$V_i$	Volumen inicial
$C_f$	Concentración final
$V_f$	Volumen final

Se midió el pH del agua cruda. Se colocó en 10 beakers, 50 mL de agua de salida de los pozos o de la naciente (Figura A.1.1.a), según sea el caso, medida con pipeta y se le añadió la cantidad de solución estándar de cloro según el Cuadro A.1.1

**Cuadro A.1.1 Solución estándar de hipoclorito para cada tipo de agua cruda según el número de beaker**

Erlenmeyer No.	Solución estándar de hipoclorito (mL)	
	Agua cruda Naciente	Agua cruda pozo
1	0,10	0,15
2	0,20	0,30
3	0,30	0,45
4	0,40	0,60
5	0,50	0,75
6	0,60	0,90
7	0,70	1,05
8	0,80	1,20
9	0,90	1,35
10	1,00	1,50
Testigo (agua destilada)	1,00	1,50

En otro beaker se agregó 50 mL de agua destilada, que serviría como testigo, añadiéndole la cantidad de hipoclorito de sodio según el Cuadro A.1.1. Seguidamente se agregó la dosis del cuadro anterior a cada beaker, agitando para la correcta mezcla. La dosificación se desfasó 10 minutos para llevar un control riguroso. Cada beaker se tapó con papel aluminio y se dejó reposar durante 30 minutos (Figura A.1.1.b). Al finalizar el tiempo de reacción se utilizó el medidor de cloro y se midió el cloro residual total y el cloro residual libre (Figura A.1.2), una vez obtenidos los datos por diferencia se obtuvo el cloro residual combinado.



**Figura A.1.1. a) Muestra antes de la adición de alícuota de cloro. b) Muestras con las alícuotas de cloro.**



**Figura A.1.2. Medición de cloro residual**

## ANEXO 2: REPORTES DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA

En el siguiente cuadro se encuentran los resultados de análisis realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas. Los reportes corresponden a:

AYA-ID-09690-2014 realizado el 9 diciembre 2014 (Sistema Cuchillo, llave de chorro)

AYA-ID-02672-2015 realizado el 9 abril 2015 (Naciente El Tigre, antes de tanque)

AYA-ID-03344-2016 realizado el 15 de abril de 2016 (Sistema Laberinto, Señor Wilberth Fernández Núñez)

AYA-ID-06683-2016 realizado el 7 Julio 2016 (Sistema Paquera- pozo nuevo, aforo)

**Cuadro A.2.1. Reportes de análisis de calidad de agua realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas en las diferentes fuentes de abastecimiento en el año 2014, 2015 y 2016**

Parámetro	Pozo Cuchillo	Naciente El Tigre	Pozo Laberinto	Pozo Paquera	Unidades
Alcalinidad	230	191	240	226	mg/l
Aluminio	D	N. D	D	8,8	µg/l
Amonio	N. D	NR	D	N. D	mg/l
Antimonio	N. D	N. D	N. D	N. D	µg/l
Arsénico	1,0	1,1	1.2	1,0	µg/l
Cadmio	N. D	N. D	N. D	N. D	µg/l
Calcio	73,0	68,5	66.9	58,0	mg/l
Cloruros	1,68	3,53	15.36	1,52	mg/l
Cobre	N. D	6,8	3.8	N. D	µg/l
Color aparente	NR	N. D	N. D	D	UPt-Co
Conductividad	490	377	493	436	µS/cm
Cromo	1,6	N. D	D	D	µg/l
Dureza de calcio	183	171	167	145	mg/l
Dureza total	205	176	199	179	mg/l
Floruros	D	D	0.11	0,20	mg/l
Fosfatos	N. D	N. D	N. D	N. D	mg/l
Hierro	4,9	4,8	3.0	53,6	µg/l
Magnesio	5,5	1,2	7.8	8,3	mg/l
Manganeso	N. D	N. D	N. D	7,3	µg/l
Mercurio	N. D	N. D	D	N. D	µg/l
Níquel	N. D	N. D	N. D	N. D	µg/l
Nitratos	1,42	N. D	1.43	D	mg/l
Nitritos	N. D	N. D	N. D	N. D	mg/l
Olor	NR	NR	Negativo	Negativo	N. A

**Continuación cuadro A.2.1**

<b>Parámetro</b>	<b>Pozo Cuchillo</b>	<b>Naciente El Tigre</b>	<b>Pozo Laberinto</b>	<b>Pozo Paquera</b>	<b>Unidades</b>
pH	6,84	7,1	7.58	7,38	
Plomo	N. D	D	D	N.D	µg/l
Potasio	#error	#error	N.D	N.D	mg/l
Sabor	NR	NR	Negativo	Negativo	N.A
Selenio	N. D	D	N.D	D	µg/l
Sodio	24	18,3	25.8	33,8	mg/l
Sulfatos	4,59	5,89	5.12	4,78	mg/l
Turbiedad	0,2	N.D	0.14	0,32	UNT
Zinc	N. D	8,1	6.6	61,6	µg/l
Temperatura	27,6	NR	N.A	NR	°C

**ND No detectable bajo límite de detección**

**D Detectable pero no cuantificable**

### ANEXO 3: REPORTES DE AFOROS EN FUENTES

**Cuadro A.3.1 Caudales aforados de las fuentes de abastecimiento de la ASADA Paquera.**

<b>Periodo</b>	<b>Naciente El Tigre (l/s)</b>	<b>Pozo Cuchillo (l/s)</b>	<b>Pozo Laberinto(l/s)</b>
ene-17	8,55	8,89	3,52
feb-17	8,45	8,90	3,80
mar-17	8,00	8,95	3,70
abr-17	7,50	8,80	3,60
may-17	7,80	8,70	3,72
jun-17	7,90	8,90	3,72
jul-17	7,80	8,80	3,82
ago-17	8,00	8,75	3,89
sep-17	11,50	8,90	3,87
oct-17	13,00	8,77	3,85
nov-17	13,50	8,92	3,86
dic-17	12,80	8,93	3,82
ene-18	12,10	9,01	3,83
feb-18	9,70	9,03	3,82
mar-18	9,10	8,97	3,76
abr-18	8,30	8,79	3,79
may-18	8,70	8,85	3,83
jun-18	9,20	8,76	3,74
jul-18	9,30	8,98	3,72
ago-18	10,70	8,92	3,79
sep-18	11,30	9,20	3,81
oct-18	12,90	9,15	3,82
nov-18	NR	NR	NR
dic-18	13,30	9,17	3,73
ene-19	12,20	9,07	3,79
feb-19	10,80	8,82	3,78
mar-19	10,10	8,90	3,81
abr-19	9,20	8,95	3,83

**Fuente: ASADA Paquera**

## ANEXO 4: GUÍA DE AFORO

En la figura A.4.1 se encuentran los materiales necesarios y pasos a seguir para obtener el caudal aforado en la fuente.







Materiales necesarios:		
		
Recipiente de volumen conocido, adecuado para el caudal a medir	Cronómetro	Libreta y lápiz
Pasos a seguir en campo:		
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Colocar el recipiente en un lugar donde se desvíe todo el caudal a medir y que permita estabilidad</li><li>2. Medir con el cronómetro el tiempo que tarda en llenarse el recipiente y anotar el valor</li><li>3. Repetir las mediciones 7 veces</li></ol>		
Pasos a seguir en la oficina:		
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Anotar los valores de volumen del recipiente en <u>Litros</u> y los 7 tiempos de llenado en <u>segundos</u> en la ficha<ul style="list-style-type: none"><li>• Para calcular el promedio se debe:<ul style="list-style-type: none"><li> Sumar los 7 valores de tiempo obtenidos</li><li> Dividir el resultado de la suma entre 7</li></ul></li><li>• Para calcular el caudal se debe:<ul style="list-style-type: none"><li> Dividir el volumen del recipiente usado entre el promedio</li></ul></li></ul></li></ol>		
Ejemplo:		
Se realizó el aforo de una naciente con un recipiente de <b>20 L</b> y se obtuvieron los siguientes 7 tiempos de llenado en <b>segundos</b> : 16,41 – 17,31 – 17,27 – 16,32 – 16,84 – 17,08 – 16,68		
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Se anotaron los valores en la ficha de registro</li><li>2. Se suman los valores: <math>16,41 + 17,31 + 17,27 + 16,32 + 16,84 + 17,08 + 16,68 = 117,91</math> s</li><li>3. Se divide el resultado de la suma entre 7: <math>117,91 \text{ s} \div 7 = 16,84</math> s (Promedio)</li><li>4. Se divide el volumen del recipiente entre el promedio: <math>20 \text{ L} \div 16,84 \text{ s} = 1,19</math> L/s (Caudal)</li></ol>		

Figura A.4.1. Materiales y procedimiento para obtener el caudal aforado.

Fuente: (Gaviria-Montoya, Pino-Gómez, & Soto-Córdoba, 2016)