

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 de la oferta y demanda del recurso hídrico - propuesta de mejoras para
el sistema de acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica”**

Laura Vanessa Ureña Vargas

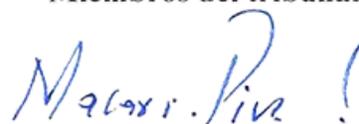
CARTAGO, abril, 2016

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

“Evaluación de la oferta y demanda del recurso hídrico - propuesta de mejoras para el sistema de acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica”

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

Miembros del tribunal



Ing. Macario Pino Gómez
Director



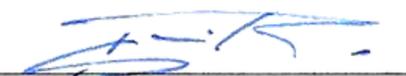
M.Sc. Jorge Calvo Gutiérrez
Lector 1



M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Lector 2



M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Coordinador COTRAFIG



Dra. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química



M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi Ángel de la Guarda por guiarme y permanecer a mi lado durante todos estos años de recorrido y los que vienen.

A mis profesores Marianela Navarro Camacho y Noé Navarro Martínez de biología y química en el Liceo Elías Leiva Quirós, por su guía durante los últimos años de colegio y por su apoyo, gracias a ustedes encontré mi vocación e inicié el recorrido por Ingeniería Ambiental.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por integrarse en el proceso y poco a poco contribuir al cambio de conciencia ambiental.

A mi amiga-hermana, compañera y colega Ericka Calderón, quien conoce mejor que nadie el esfuerzo, altos y bajos que hemos pasado juntas desde el primer día y que nos ha llevado a ser compañeras de viaje y aventuras; ¡Hasta el infinito y más allá!

A mi novio Alberto Salazar por su apoyo incondicional en este recorrido y por siempre recordarme que ¡Sí se puede!

A mi profesor tutor, Ing. Macario Pino Gómez, por su apoyo constante, sugerencias y acertadas preguntas a lo largo de estos años.

A doña Rosa Granados Font, por ayudarme a ver mejor el camino y recordarme que “no se puede cruzar puentes que no han sido construidos”.

A la junta directiva de la ASADA de San Isidro de El Guarco, por permitirme realizar el proyecto final de graduación en el acueducto.

A don Anabelio Araya Céspedes, doña Eyda Brenes Granados, don Gerardo Cerdas Montoya, Adonay Chacón Alvarado e Ivannia Romero Barahona que formaron parte del equipo de trabajo en el acueducto, por su ayuda y apoyo durante el proceso de recopilación de información y visitas de campo, además de sus valiosas sugerencias para el futuro.

Al profesor M.Sc. Jorge Calvo Gutiérrez por su apoyo durante todos estos años de carrera y por ser lector del proyecto.

A la profesora M.Sc. Diana Zambrano Piamba por ser lectora de mi proyecto y valiosos consejos.

A Marco Méndez López por toda la colaboración en el laboratorio de Ing. Ambiental.

A la profesora MAI. Marysia Gómez Gallardo que me permitió compartir y ser su asistente durante tantos años.

A todas las personas que han sido parte de mi formación profesional, a mis compañeros de carrera, a la Carrera de Ingeniería Ambiental y al Instituto Tecnológico de Costa Rica, que me permitió concluir la licenciatura con el aporte de becas en asistencias especiales y horas asistente. En especial a la asistencia en el proyecto “Propuesta para el mejoramiento de las condiciones de saneamiento ambiental en ASADAs de la provincia de Cartago, con un enfoque de prevención al cambio climático”, del cual surgió la posibilidad de realizar este proyecto; con el apoyo de los investigadores: Dra. Silvia Soto Córdova, Ing. Lilliana Gaviria Montoya e Ing. Macario Pino Gómez.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1 Introducción.....	3
1.1 <i>Objetivos</i>	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
2 Marco de referencia	5
2.1 <i>Gestión del recurso hídrico</i>	5
2.1.1 Sector del agua potable en Costa Rica.....	5
2.1.2 Normativa.....	7
2.1.3 Efecto del cambio climático	8
2.2 <i>Sistemas de tratamiento de agua</i>	9
2.2.1 Tipos de plantas de tratamiento de agua.....	9
3 Materiales y métodos.....	18
3.1 <i>Lugar de estudio</i>	18
3.2 <i>Descripción del acueducto</i>	19
3.3 <i>Oferta de recurso hídrico en las fuentes captadas</i>	23
3.4 <i>Calidad del agua captada y distribuida</i>	24
3.5 <i>Demanda actual de agua potable</i>	25
3.6 <i>Proyección de la demanda futura de agua potable</i>	27
3.6.1 Proyección poblacional	27
3.6.2 Cálculo del consumo futuro.....	27
3.7 <i>Descripción y evaluación de los componentes del acueducto</i>	29
3.8 <i>Medidas de mejora para las estructuras del acueducto</i>	30
4 Resultados y discusión.....	32
4.1 <i>Oferta de recurso hídrico en las fuentes captadas</i>	32

4.2	<i>Calidad del agua captada y distribuida</i>	38
4.3	<i>Demanda actual de agua potable</i>	44
4.4	<i>Proyección de la demanda futura de agua potable</i>	46
4.4.1	Proyección poblacional	46
4.4.2	Cálculo del consumo futuro.....	48
4.5	<i>Descripción y evaluación de los componentes del acueducto</i>	50
4.5.1	Fuentes de abastecimiento	50
4.5.2	Línea de conducción.....	55
4.5.3	Sistema de Tratamiento	59
4.6	<i>Medidas de mejora para las estructuras del acueducto</i>	68
4.6.1	Fuentes de abastecimiento	68
4.6.2	Línea de conducción.....	69
4.6.3	Sistema de Tratamiento	71
5	Conclusiones	76
6	Recomendaciones	78
7	Referencias	80
8	Apéndices	85
Apéndice 1.	<i>Registro de caudales captados 2014 - 2015</i>	85
Apéndice 2.	<i>Registro de aforos realizados en las captaciones de la ASADA de San Isidro de El Guarco</i> 86	
Apéndice 3.	<i>Registro fotográfico de los puntos de aforo</i>	91
Apéndice 4.	<i>Muestra de fichas para el registro de aforos</i>	93
Apéndice 5.	<i>Muestra de los registros de caudales y gráficos generados en Excel</i>	94
Apéndice 6.	<i>Guía para realizar los aforos volumétricos</i>	95
Apéndice 7.	<i>Registro de análisis de laboratorio de la ASADA</i>	96
Apéndice 8.	<i>Frecuencia de muestreo de diferentes niveles de control para el acueducto de San Isidro</i> 107	
Apéndice 9.	<i>Registro de consumo mensual de agua potable para los años 2014 y 2015</i>	109
Apéndice 10.	<i>Registro de aforo en el tanque de almacenamiento</i>	110

Apéndice 11.	<i>Proyección poblacional para la comunidad de San Isidro de El Guarco 2015-2035</i>	111
Apéndice 12.	<i>Fichas de campo SERSA aplicadas a los componentes del acueducto.....</i>	112
Apéndice 13.	<i>Registro de concentraciones de cloro residual.....</i>	121
Apéndice 14.	<i>Formato de registro de mediciones de cloro residual.....</i>	129
Apéndice 15.	<i>Formato de hoja de cálculo para diseño del desarenador.....</i>	130
Apéndice 16.	<i>Formato de hoja de cálculo para diseño del FGD_i - FiME.....</i>	131
Apéndice 17.	<i>Formato de hoja de cálculo para diseño del FGAS₂ – FiME.....</i>	132
Apéndice 18.	<i>Formato de hoja de cálculo para diseño del FLA – FiME.....</i>	133
Apéndice 19.	<i>Formato de hoja de cálculo para volúmenes de almacenamiento.....</i>	134
Apéndice 20.	<i>Propuesta de Desarenador.....</i>	135
Apéndice 21.	<i>Propuesta de FiME.....</i>	136
9	Anexos.....	141
Anexo 1.	<i>Lineamientos básicos para el diseño de FGD_i.....</i>	141
Anexo 2.	<i>Lineamientos básicos para el diseño de FGA.....</i>	142
Anexo 3.	<i>Valores de precipitaciones y temperatura en la estación termopluviométrica más cercana a la zona en estudio.....</i>	144
Anexo 4.	<i>Información toxicológica de los Subproductos de Desinfección (SPD).....</i>	146
Anexo 5.	<i>Métodos de cálculo para la tasa de crecimiento poblacional.....</i>	147
Anexo 6.	<i>Métodos de cálculo para la proyección de la población.....</i>	149
Anexo 7.	<i>Fórmulas para el diseño del desarenador.....</i>	151
Anexo 8.	<i>Fórmulas para el diseño del FiME.....</i>	154
Anexo 9.	<i>Fórmulas para la determinación del volumen de almacenamiento.....</i>	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Procesos que integran el sistema de tratamiento FiME.	12
Figura 2.2. Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico (FGDi).	12
Figura 2.3. Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas (FGAC).	13
Figura 2.4. Corte isométrico de un filtro grueso ascendente en serie (FGAS).	14
Figura 2.5. Componentes básicos de un Filtro Lento en Arena (FLA).	15
Figura 3.1. Mapa de ubicación del lugar en estudio.	18
Figura 3.2. Esquema del sistema del acueducto de San Isidro.	20
Figura 3.3. Mapa con la identificación de los componentes principales del acueducto.	21
Figura 3.4. Conformación de la junta directiva de la ASADA de San Isidro de El Guarco, Cartago.	22
Figura 4.1. Histograma de frecuencia para los valores de caudal total captado mensualmente en las fuentes de abastecimiento del acueducto durante los años 2014 y 2015.	34
Figura 4.2. Variación de la lluvia mensual en la estación termopluviométrica del IMN ubicada en el TEC (Cartago).	36
Figura 4.3. Variaciones del caudal total captado y precipitaciones mensuales para el periodo 2014 y 2015.	37
Figura 4.4. Histograma de frecuencia para los valores de turbidez obtenidos durante los muestreos realizados en las fuentes de abastecimiento del acueducto en el año 2015.	40
Figura 4.5. Valores de turbidez obtenidos durante los muestreos realizados en las fuentes de abastecimiento del acueducto en el año 2015.	41
Figura 4.6. Consumo mensual de agua potable de acuerdo al tipo de abonado para el acueducto de San Isidro durante el periodo de julio 2014 a diciembre 2015.	44
Figura 4.7. Proyección de crecimiento poblacional para la comunidad de San Isidro.	48
Figura 4.8. Estructura de captación Lobo N°1 (antigua).	50
Figura 4.9. Estructura de captación Lobo N°2.	51
Figura 4.10. Estructura de captación Lobo N°1 (nueva).	52
Figura 4.11. Estructura de captación Casa Blanca N°2.	53
Figura 4.12. Estructura de captación de la naciente Casa Blanca N°1.	54

Figura 4.13. Tanque de reunión	56
Figura 4.14. Tanque quiebra gradiente N°1	57
Figura 4.15. Tanque quiebra gradiente N°2	57
Figura 4.16. Línea de conducción	58
Figura 4.17. Sistema de tratamiento del acueducto de San Isidro de El Guarco.....	59
Figura 4.18. Tanque estabilizador	60
Figura 4.19. Filtro grueso de flujo ascendente	61
Figura 4.20. Tanque de almacenamiento.....	62
Figura 4.21. Clorador	63
Figura 4.22. Variación de la concentración de cloro residual	64
Figura 4.23. Identificación de los riesgos SERSA en los componentes del acueducto.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Cobertura del servicio de agua potable para los diferentes operadores en Costa Rica....	6
Cuadro 2.2. Límites de calidad de agua aceptables para diferentes sistemas de tratamiento por filtración	11
Cuadro 2.3. Modelo para la selección de las alternativas de pretratamiento adecuadas para el sistema de tratamiento FiME.....	16
Cuadro 2.4. Comparación de criterios para el diseño de filtros lentos en arena (FLA)	16
Cuadro 2.5. Parámetros de diseño para diferentes sistemas de tratamiento por filtración	17
Cuadro 2.6. Guía de comparación de procesos de tratamiento para remover turbiedad y contaminación fecal.....	17
Cuadro 3.1. Descripción de los sitios donde se realiza el aforo de las captaciones del acueducto ...	23
Cuadro 3.2. Método y equipo utilizado para la medición de los parámetros de calidad de agua de las muestras tomadas en el acueducto.....	25
Cuadro 3.3. Clasificación de riesgo de acuerdo al sistema SERSA para los componentes evaluados en el acueducto	30
Cuadro 4.1. Caudales reportados para cada una de las captaciones de la ASADA durante el año 2014 y 2015	33
Cuadro 4.2. Descripción de los riesgos presentes al realizar los aforos en las captaciones empleadas por la ASADA	35
Cuadro 4.3. Resultados generales obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en diferentes sectores del acueducto.....	39
Cuadro 4.4. Comparación de parámetros de calidad en diferentes muestreos realizados en el sistema de tratamiento del acueducto durante el año 2015.....	42
Cuadro 4.5. Consumo promedio registrado para los abonados del acueducto de San Isidro, en el periodo de julio 2014 a diciembre de 2015	45
Cuadro 4.6. Tasa de crecimiento poblacional para la población de la comunidad de San Isidro de El Guarco	47
Cuadro 4.7. Proyección poblacional para la población de la comunidad de San Isidro en el periodo de 2015 a 2035.....	47
Cuadro 4.8. Proyección del caudal medio diario en diferentes escenarios para la comunidad de San Isidro.....	49

Cuadro 4.9. Proyección del caudal máximo diario en diferentes escenarios para la comunidad de San Isidro.....	49
Cuadro 4.10. Proyección del caudal máximo horario en diferentes escenarios para la comunidad de San Isidro.....	49
Cuadro 4.11. Resumen de los riesgos identificados en las estructuras con las guías de inspección sanitaria del SERSA	65
Cuadro 4.12. Otros factores de riesgo identificados en el acueducto.....	66
Cuadro 4.13. Material filtrante requerido para la FGD _i propuesta	72
Cuadro 4.14. Material filtrante requerido para la FGAS ₂ propuesta	73
Cuadro 4.15. Material filtrante requerido para la FLA propuesta.....	73

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ASADA	Asociación Administradora de Acueducto Rural
ANC	Agua No Contabilizada
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
CAAR	Comité Administrador de Acueducto Rural
Cedarena	Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CEQIATEC	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
Cinara	Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
CO	Control operativo
CRRH	Comité Regional de Recursos Hidráulicos
ERP	Sistemas de planificación de recursos empresariales
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FG	Filtración Gruesa en Grava
FGA	Filtración (Filtro) Gruesa Ascendente
FGAC	Filtración (Filtro) Gruesa Ascendente en Capas
FGAS	Filtración (Filtro) Gruesa Ascendente en Serie
FGDi	Filtración (Filtro) Gruesa Dinámica
FiME	Filtración (Filtro) en Múltiples Etapas
FiR	Filtración (Filtro) Rápida
FLA	Filtración (Filtro) Lenta en Arena
IANC	Índice de Agua No Contabilizada
ICAA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
IDS	Índice de Desarrollo Social
IFAM	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IRC	Centro Internacional de Agua y Saneamiento
KML	Keyhole Markup Language
MIDEPLAN	Ministerio de Planeación Nacional y Política Económica de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
MS	Ministerio de Salud de Costa Rica
N.A.	No aplica
N.R.	Valor no registrado
N1	Nivel primero
N2	Nivel segundo
N3	Nivel tercero

N4	Nivel cuarto
NMP	Número Más Probable
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PET	Tereftalato de polietileno
Qmd	Caudal medio diario
QMD	Caudal Máximo Diario
QMH	Caudal Máximo Horario
SADAweb	Software Administrador de Acueductos
SERSA	Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud
SHP	ESRI shapefile
SPD	Subproductos de la desinfección
TEC	Instituto Tecnológico de Costa Rica
THM	Trihalometanos
UC Pt-Co	Unidades de Color Platino Cobalto
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
WHO	Organización Mundial de la Salud
WWAP	Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos

RESUMEN

La Asociación Administradora del Acueducto Rural (ASADA) de San Isidro de El Guarco ha registrado problemas en la administración, operación y mantenimiento del acueducto, que no le han permitido brindar un servicio de abastecimiento de agua potable permanente, continuo, suficiente e igualitario para la población meta. Lo anterior llevó a plantear el estudio de la calidad y cantidad del recurso hídrico disponible, valorando si este es suficiente para abastecer a la población actual y a la futura. También se procedió a valorar los componentes del acueducto y la gestión de la ASADA en la prestación del servicio, para lo cual se evaluaron las estructuras del sistema de acueducto desde la captación de las aguas, pretratamiento, conducción, sistema de tratamiento y desinfección. El proceso requirió del análisis de la información disponible; en archivos, visitas de campo, medición de caudales, toma de muestras de agua, análisis físico químicos y microbiológicos, georreferenciación de las estructuras, determinación del consumo de agua actual y futuro, además de la evaluación de los componentes del acueducto, para establecer los riesgos presentes y el diseño del sistema de pretratamiento, potabilización y almacenamiento. A partir de lo anterior se encontró una variación en los caudales disponibles sin una relación aparente entre estos y las precipitaciones, se determinó un consumo de 180 L/persona*día, con una variación en la demanda de agua potable de 5,2 L/s en el año 2015 a 20,03 L/s en el año 2030 y se determinó que con la variación de caudales de las fuentes no se puede garantizar el suministro de agua en el futuro. Además se realizó el rediseño del sistema de tratamiento actual, para lo cual se propuso un sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), y mejoras en las captaciones, en el sistema desinfección y almacenamiento.

Palabras clave: Oferta de recurso hídrico, Demanda de agua potable, Tratamiento de agua potable, FiME, ASADA, Costa Rica

ABSTRACT

The Aqueduct Administration Association (ASADA, according to initials in Spanish) in San Isidro, El Guarco, has shown problems with the administration, operation and maintenance of the aqueduct, which have not allowed it to provide a permanent, continuous, sufficient and equalitarian service of potable water supply to the target population. This leads to set the study of the quality and quantity of the available water resource, assessing whether this is enough to supply the current and future population. Also, were evaluated taking into account the components of the water system (intake structures, pretreatment, conduction, water treatment system and disinfection) and the management of the ASADA in providing the service. The process required the analysis of the available data; either files, field visits, flow measurement, sampling water, physical-chemical and microbiological analysis, georeferencing of structures, determination of current and future consumption of drinkable water, in addition there was an evaluation of the components of the aqueduct, in order to establish the present risks and the design of the pretreatment, purification and storage system. As a result, a variation in the available flows rates was found, without an apparent link between these and the rainfall, it was determined a consumption of 180 liters of water per person per day, with a variation in the demand for potable water of 5.2 L/s in 2015 to 20.03 L/s in 2030. It also was determined that, with the fluctuation of the water level sources, the water supply in the future cannot be guaranteed. A redesign of the current treatment system is also indispensable, that is why I proposed a Multi-Stage Filtration (MSF) technology, with improvements in the intake structures, the disinfection and the storage structures.

Key words: Water resources supply, Drinkable water demand, Drinkable water treatment, Multi-Stage Filtration, ASADA, Costa Rica

1 INTRODUCCIÓN

El cuarto reporte del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, por sus siglas en inglés) destaca la importancia del agua como un recurso natural esencial, crítico e indispensable, lo cual hace necesario implementar un manejo global del recurso hídrico, que se complementa con las políticas y manejo realizado a nivel regional, nacional y local por parte de los gobiernos, esto considerando la poca certeza que presenta el manejo del agua, debido a las constantes variaciones en el crecimiento de la población, la tecnología, el estilo de vida y los patrones de consumo, el cambio climático, entre otros (WWAP, 2012). De acuerdo al último informe *Progresos en materia de agua potable y saneamiento* (Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés), 2015), en el 2010 se sobrepasó la meta de mejoras en fuentes de agua potable, como parte del séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM). No obstante, el reporte, *Manejo de agua bajo incertidumbre y riesgo* del WWAP (2012), señala que el cumplimiento del séptimo ODM tiene serias fallas, ya que no considera factores tan esenciales como la continuidad, calidad y accesibilidad del servicio.

Costa Rica es un país con gran riqueza hídrica, sin embargo existe una fuerte presión en la demanda de este recurso debido al aumento en la población, el crecimiento urbanístico e industrial y las actividades agrícolas, pecuarias y turísticas, además la oferta del recurso hídrico se ve afectada por la contaminación y carencias en las infraestructuras de almacenamiento, conducción y distribución del agua (Astorga & Angulo, 2013). El sistema de acueducto evaluado en este proyecto presenta problemas en la calidad del agua distribuida a los usuarios e insuficiencia en la oferta, que no permite garantizar un abastecimiento permanente, continuo, suficiente e igualitario para la población meta. Los usuarios han exteriorizado molestias por la distribución de agua con sedimentos, sabor y color no agradables para el consumo, especialmente cuando inicia la época lluviosa, además se han presentado análisis físico-químicos y microbiológicos, que no cumplen con lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (2015). También por escasez del recurso hídrico o por problemas con las fuentes de abastecimiento se han dado períodos en los cuales la administración realiza cortes en el suministro de agua potable.

La necesidad de disponer de un recurso suficiente y de buena calidad se debe abordar desde la protección de las áreas de influencia de las fuentes de abastecimiento y con ello prevenir la contaminación desde la fuente, además de mantenimiento preventivo y correctivo en los componentes de captación, conducción y distribución. Cuando se emplean aguas superficiales, se debe dar un tratamiento adecuado para su potabilización, valorando la alternativa de tratamiento más adecuada para las condiciones del acueducto, entre las opciones de tratamiento se tiene plantas convencionales, de tecnología apropiada y de

tecnología importada o de patente, o bien plantas de filtración rápida, filtración lenta y sistemas de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).

Ante la situación planteada por la ASADA de San Isidro, se propuso realizar la evaluación del sistema, contemplando la disponibilidad, demanda actual y futura del recurso hídrico, la calidad y variaciones en los caudales disponibles, considerando los posibles efectos del cambio climático. Para lo cual se realizaron mediciones de caudal, análisis de la calidad del agua tanto captada como distribuida, evaluación y georreferenciación de los componentes del acueducto, generando una serie de medidas de mejora; las cuales incluyen la mejora de las estructuras de captación en Casa Blanca N°2, Lobo N°1 (antigua), Lobo N°2 y El Gringo, además de la protección de todas las estructuras. El acueducto requiere de un desarenador, un sistema de tratamiento de FiME, desinfección que garanticen la potabilización del agua, y una estructura de almacenamiento con la capacidad requerida para la población meta, ya que el sistema actual no está cumpliendo con lo anterior y se pone en riesgo la salud de la población. También es necesario el seguimiento de las variaciones de caudales y la calidad en las fuentes de abastecimiento, para prever y tomar las medidas necesarias ante una disminución de los caudales con un eventual desabastecimiento, contemplando la reducción en el consumo *per cápita*, disminuir pérdidas y consumos excesivos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Determinar la oferta, demanda, calidad del agua y el estado de cada uno de los componentes del acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la oferta, demanda y calidad del recurso hídrico, actual y su proyección
- Realizar la evaluación de los componentes del acueducto (captación, línea de conducción, tratamiento, almacenamiento y desinfección)
- Proponer un sistema de tratamiento de agua potable y plantear acciones de mejora en los componentes del acueducto

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

De acuerdo a las Guías para la Calidad del Agua (WHO, 2011), el control y efecto de las actividades humanas potencialmente contaminantes en las cuencas y zonas de recarga de los acuíferos es primordial para la gestión preventiva de la calidad del agua para consumo humano, ya que prevenir la contaminación microbiana y química del agua desde el origen y captación de la misma representa la primer medida a tomar. A partir de la efectividad de las medidas de prevención implementadas es que se define el tipo de tratamiento a seguir para potabilizarla, puesto que siempre es mejor prevenir la contaminación a mejorar los sistemas de tratamiento (WHO, 2011).

2.1.1 Sector del agua potable en Costa Rica

El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) por medio de la dependencia de Dirección de Aguas, cumple la función de protección y administración de las aguas, las cuales son propiedad del Estado, y lo realiza como órgano rector de los recursos hídricos del país, para lo cual debe disponer y resolver del aprovechamiento, utilización, gobierno y vigilancia de las aguas (Ballesteros Vargas, 2013).

Por otra parte, es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA) como organismo descentralizado, provisto legal y financieramente, el encargado de *“dirigir, fijar políticas, establecer y aplicar normas, realizar y promover el planeamiento, financiamiento y desarrollo y de resolver todo lo relacionado con el suministro de agua potable y recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos, lo mismo que el aspecto normativo de los sistemas de alcantarillado pluvial en áreas urbanas, para todo el territorio nacional”* (Subgerencia Gestión de Sistema Comunales-ICAA, 2008).

El servicio de agua potable en el país es brindado por diferentes operadores, entre estos el ICAA, Municipalidades, Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAs), Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAARs), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y otros operadores del sector privado (Astorga & Angulo, 2013), siendo el ICAA el rector, ha delegado esta labor a los operadores mencionados (Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales (Cedarena), 2013), dándose una cobertura del 99,5% en conexiones por cañería (Angulo, 2015) y de acuerdo a un estudio del ICAA, para el 2013, el mayor porcentaje de agua no potable se presenta en los acueductos administrados por ASADAs (Astorga & Angulo, 2013), situación que se mantiene en el último reporte presentado para el 2015, como se muestra en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Cobertura del servicio de agua potable para los diferentes operadores en Costa Rica

Operadores	Cantidad de acueductos	% de población cubierta	% de población con agua potable	% población con agua no potable
ICAA	191	46,8	99,0	1,0
Municipalidades	232	14,0	95,1	4,9
CAARs y ASADAs	2061	28,7	82,4	17,6
ESPH	13	4,8	99,1	0,9
Otros	N.R.	5,2	93,4	6,6
Subtotal abastecido por cañería	2497	99,5	93,4	6,6
Sin tubería	N.R.	0,5	0,0	100
Total	2497	100	93,0	7,0

Elaborado a partir de Angulo, (2015), con información del Laboratorio Nacional de Aguas (2015).

N.R.: valores no reportados

De acuerdo al reporte de Angulo (2015) para el Programa Estado de la Nación, aún cuando en el país se han presentado mejoras en la cobertura del servicio de agua potable, quedan muchos problemas por solucionar, ya que a pesar de las mejoras, numerosos son los operadores que no pueden garantizar un servicio de calidad, cantidad y continuidad (24 horas – 7 días a la semana).

2.1.1.1 ASADAs

Las ASADAs son órganos locales constituidos como asociaciones, conformadas por vecinos de las comunidades en las cuales se ubican y donde prestan el servicio de abastecimiento de agua potable y en algunos casos saneamiento (administración, operación, mantenimiento y desarrollo de acueductos y alcantarillados) (Cedarena, 2013), por delegación del ICAA, esta se da siempre y cuando se beneficie la prestación del servicio y se garantice el cumplimiento de los reglamentos correspondientes, como lo establece la ley constitutiva del ICAA (Subgerencia Gestión de Sistema Comunales-ICAA, 2008).

Es importante destacar que en el caso de las ASADAs cuando el ICAA acredita y legitima su constitución y funcionamiento, lo hace por medio de un convenio de delegación, con lo cual se reafirma la potestad de la institución para intervenir en asuntos de gestión y pedir cuentas a las juntas administradoras, y en caso de que no se cumpla con las obligaciones establecidas y asumidas por la junta administradora de la ASADA y no se garantice la prestación de un servicio de calidad, el ICAA podrá rescindir el convenio y con ello encargarse de la administración, operación, mantenimiento y desarrollo del sistema de acueducto y cuando amerite del alcantarillado sanitario (Cedarena, 2013).

El Manual informativo con los aspectos básicos para la gestión de las nuevas juntas directivas de las ASADAs (2008) destaca como sus principales fines los siguientes:

- ◆ Construcción, administración, operación, mantenimiento y desarrollo del sistema de acueducto y alcantarillado a cargo
- ◆ Brindar el servicio público de agua potable a todos sus clientes de forma eficiente, igualitaria y oportuna, sin realizar distinciones
- ◆ Velar porque los sistemas e instalaciones del acueducto cumplan con los principios básicos del servicio público en cuanto a la calidad, cantidad, cobertura y eficiencia
- ◆ Velar por la conservación y aprovechamiento racional de las aguas empleadas para el suministro, con controles de contaminación, protección de cuencas hidrográficas y estabilidad ecológica

En Costa Rica se reportan alrededor de 1500 ASADAs que se encargan de los sistemas de acueductos y de abastecer de agua potable al 30% de la población del país, en muy pocos casos estos operadores gestionan el sistema de alcantarillado sanitario (Cedarena, 2013).

2.1.2 Normativa

Las ASADAs en su papel de prestadoras y administradoras de un servicio público se rigen por una serie de leyes, reglamentos, decretos, y normas entre los cuales se destacan los siguientes:

- La Ley de Asociaciones N° 218 y su reglamento (Subgerencia Gestión de Sistema Comunales-ICAA, 2008)
- Reglamento de las ASADAs N° 32529 (2005), que establece los deberes y atribuciones de las ASADAs en la administración del acueducto y prestación de servicios.
- Ley de Aguas (1942), establece lo referente al aprovechamiento de las aguas (públicas, privadas y concesiones).
- Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (2015) donde se establecen los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable.
- Regulación de la tarifas de acuerdo a lo establecido por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP).
- Reglamento de prestación de los servicios de Acueducto, Alcantarillado Sanitario e Hidrantes N° AR-PSAyA-2013 de la ARESEP (2014), con el que se regula las condiciones para la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable (calidad, cantidad, continuidad, confiabilidad y prestación óptima), alcantarillado sanitario e hidrantes.
- Ley Declaratoria del Servicio de Hidrantes como Servicio Público y Reforma de Leyes Conexas No 8641 y su Reglamento (Asamblea Legislativa República de Costa Rica, 2008)

- Ley Forestal N° 7575 (Asamblea Legislativa República de Costa Rica, 1996), donde se establece en el artículo 33 el área de protección para las riveras de los ríos, quebradas o arroyos, nacientes permanentes, riveras de lagos y embalses, naturales o artificiales creados por el Estado, entre otros.

2.1.3 Efecto del cambio climático

Como consecuencia del aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero y para mantener el balance energético global, el clima se ha adaptado, lo cual ha representado un aumento en la temperatura promedio de la Tierra. Como efecto de este cambio en el clima los niveles del mar han aumentado, ha disminuido la cobertura de glaciares y han variado los patrones de precipitación en muchas regiones del mundo (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), 2001).

Los cambios en los patrones de precipitación afectan directamente las fuentes de abastecimiento de agua potable. En los trópicos y sub-trópicos, las lluvias han disminuido mientras que se ha presentado un aumento en las latitudes más altas del hemisferio norte. Estos cambios tienen un efecto directo en el ciclo hidrológico y la capacidad de la tierra para permitir que el agua se infiltre, ya que se dan eventos más intensos y cortos que facilitan la escorrentía e inundaciones fuertes, lo cual disminuye la infiltración en los suelos y lleva a cambios en la distribución de las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas (UNFCCC, 2001).

En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ha analizado la situación de riesgo a la cual se enfrenta el sistema hídrico ante los potenciales impactos de los eventos hidrometeorológicos extremos relacionados al cambio climático. De acuerdo al estudio del IMN, cualquier área geográfica del país presenta riesgo ante un evento extremo que genere una sequía o una inundación e impactaría negativamente la administración de agua potable, el desarrollo humano y de las comunidades, sin embargo, se presentan zonas de mayor riesgo al mostrar una mayor vulnerabilidad. Ante los efectos del cambio climático el IMN plantea diversas medidas de adaptación, entre las cuales se destaca la necesidad de recolectar información sobre disponibilidad y monitoreo del recurso (medición de parámetros como precipitación, temperatura, caudal de ríos, entre otros), que genere un mayor conocimiento y que permita sustentar correctamente las amenazas y características del territorio, además de la eficiencia en el cobro y medición del agua, mejoras urgentes en la gestión técnica de los acueductos que involucran medidas en la infraestructura, para garantizar la oferta de recursos hídricos y medidas para la operación y mantenimiento de los acueductos y alcantarillados. También enfatiza la importancia de la educación, capacitación y sensibilización de los diferentes sectores de la población, ya que son quienes en última instancia ponen en práctica las medidas de adaptación propuestas (MINAE & IMN, 2014).

2.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Para la escogencia de un método de tratamiento se requiere información de la calidad del agua que facilite conocer cuáles son sus variaciones en un periodo de tiempo, con este propósito se programan durante un periodo estacional completo (que incluya estación seca y lluviosa en el caso de Costa Rica), una serie de muestreos en las fuentes y con ello identificar las variaciones en la calidad mediante la caracterización de los parámetros de calidad (físico-químicos y microbiológicos) que representan el mayor problema, entre estos se destacan: turbiedad, color, Número Más Probable (NMP) de coliformes termotolerantes en cien mililitros de muestra y el conteo de algas. Además es de apoyo significativo si se cuenta con más información de calidad del agua de años anteriores, ya que permitiría conocer las variaciones entre las temporadas seca y lluviosa a través del tiempo. La cantidad de muestreos a realizar se limita a la importancia que tenga el estudio y los recursos disponibles. Para realizar el diseño y plantear un sistema que resista operar cuando aumentan las lluvias sin generar costos adicionales, es determinante contar como mínimo con los datos de la época lluviosa (Vargas, 2004a), ya que durante la temporada de lluvias tienden a variar y aumentar los valores para los parámetros de calidad.

2.2.1 Tipos de plantas de tratamiento de agua

Los sistemas de potabilización de agua para consumo humano se pueden clasificar de acuerdo al tipo de tecnología aplicada y van desde plantas convencionales, plantas de tecnología apropiada, hasta plantas de tecnología importada o de patente. O bien, de acuerdo a los procesos que las conforman, se clasifican en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta (Vargas, 2004b).

2.2.1.1 *Plantas de filtración rápida (FiR)*

Este sistema de tratamiento está compuesto por filtros que funcionan a velocidades altas, entre los 80 a 300 m³/m²d, variando de acuerdo a las características del agua, medio filtrante y los recursos disponibles. Como resultado de las altas velocidades los filtros se colmatan con facilidad en un lapso de 40 a 50 horas. Se presentan dos tipos de plantas de filtración rápida en relación a la calidad de agua a tratar:

2.2.1.1.1 Planta de filtración rápida completa

Este sistema de tratamiento está compuesto por los procesos de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección, dándose el proceso de coagulación en dos etapas, la primera con una fuerte agitación del agua, produciéndose una mezcla rápida del coagulante en la masa de agua, seguido por la etapa de floculación, que consiste en una

agitación lenta para facilitar la aglomeración y la formación de los flóculos (Vargas, 2004b).

Las características de este sistema de tratamiento, como las altas tasas a las que operan y el empleo de coagulantes requieren de recursos humanos capacitados, por lo cual Vargas (2004b), recomienda considerar detenidamente la implementación de estos en áreas fuera de las zonas urbanas, en zonas marginales, en zonas rurales, así como en zonas económicamente deprimidas. Como lo expresan Sánchez et al (2007), estas plantas no solo requieren de una operación y mantenimiento exigente, además es preciso contar con mayores recursos económicos para el transporte, el almacenamiento y el correcto empleo de las sustancias químicas necesarias, y por ello presentan un mejor rendimiento en plantas de tratamiento grandes, que cuenten con las condiciones técnicas y administrativas adecuadas para su implementación y mantenimiento.

2.2.1.1.2 Planta de filtración directa

Constituye una alternativa a la filtración rápida completa cuando las aguas a tratar son claras y poco contaminadas, donde la turbiedad no supera 20 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) el 80% del tiempo y 30 UNT – 25 UC Pt-Co (Unidades de Color Platino-Cobalto) el 90% del tiempo. Comprende los procesos de mezcla rápida y filtración (Vargas, 2004b).

De acuerdo a la calidad del agua a tratar se pueden emplear tres alternativas: filtración directa descendente, filtración directa ascendente o filtración directa ascendente-descendente, cuyos límites de calidad de la fuente se muestran en el Cuadro 2.2. Para la implementación de estos sistemas de tratamiento es necesario un estudio amplio de la fuente a emplear y con ello conocer el comportamiento estacional, en especial durante la época lluviosa (Vargas, 2004b).

2.2.1.2 *Plantas de filtración lenta (FLA)*

La filtración lenta en arena (FLA) simula el proceso que se da naturalmente y de forma espontánea cuando el agua se percola en la tierra atravesando las diferentes capas de grava, arena y arcillas hasta llegar a los acuíferos (Vargas, 2004b). La tecnología de filtración lenta en arena es una de las más antiguas que han sido empleadas para el tratamiento de aguas en el norte de Europa, así como en Norteamérica, sin embargo, no ha resultado una experiencia exitosa en países de Latinoamérica debido a los altos niveles de turbiedad presentes en los ríos, por lo cual los filtros se saturan rápidamente y requieren un mantenimiento mucho más frecuente (L. D. Sánchez et al., 2007). En este sistema de tratamiento las tasas varían entre 0,10 y 0,30 m/h, lo cual representa tasas 100 veces menores que las tasas promedio en los filtros rápidos. La planta puede estar constituida por solo filtros lentos o también por otros procesos previos (Vargas, 2004b).

En el Cuadro 2.2 se comparan los rangos de calidad óptimos para las alternativas de tratamiento mencionadas anteriormente.

Cuadro 2.2. Límites de calidad de agua aceptables para diferentes sistemas de tratamiento por filtración

Sistema de tratamiento	Parámetros				
	Turbiedad (UNT)		Color (UC Pt-Co)		Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)
	90% del tiempo	80% del tiempo	90% del tiempo	80% del tiempo	90% del tiempo
Filtración rápida completa	<1000	<800	<150	<70	<600
Filtración directa descendente	25-30	<20	<25	N.R.	<2500*
Filtración directa ascendente	<100	<50	<60	N.R.	N.R.
Filtración directa ascendente-descendente	<250	<150	<60	N.R.	N.R.
Filtración lenta en arena	<20	<10	<15	<5	500

Elaborado a partir de Vargas, (2004b). Notas: * NMP de coliformes totales en 100 mL. N.R.: valor no reportado

Ante la falta de recursos técnicos y económicos para la implementación de plantas de tratamiento por filtración rápida y las dificultades presentadas para mantener en funcionamiento el sistema por filtración lenta en acueductos pequeños o bien ubicados en zonas rurales, es que se llega al desarrollo del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).

2.2.1.3 Plantas de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)

Las plantas FiME surgen como parte de la búsqueda de soluciones de bajo costo con un proceso de operación y mantenimiento sencillo ante las limitaciones presentes en los sistemas FiR y FLA para ser empleados en Latinoamérica. Es por esto que en los años 80's el instituto Cinara (Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico) de la Universidad del Valle en Cali, Colombia, con aporte del Centro Internacional de Agua y Saneamiento (IRC, por sus siglas en inglés), propone e implementa un proyecto a escala piloto donde se combinan la FLA y filtros previos de grava (L. D. Sánchez et al., 2007). En la Figura 2.1 se muestran los procesos que conforman el tratamiento con FiME.

La tecnología FiME permite el tratamiento de agua con niveles de contaminación más elevados a los que pueden ser tratados con la FLA, ya que está compuesta por la combinación de Filtración Gruesa en Grava (FG) y la FLA (L. D. Sánchez et al., 2007), con lo cual es posible obtener agua de buena calidad, sin emplear reactivos químicos en el proceso de tratamiento (Organización Panamericana de la Salud (OPS) & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 2005b) y se mantienen las ventajas de la FLA como un tratamiento que puede ser operado por personal con bajo nivel de escolaridad, aún cuando la tecnología es robusta y confiable (L. D. Sánchez et al., 2007).

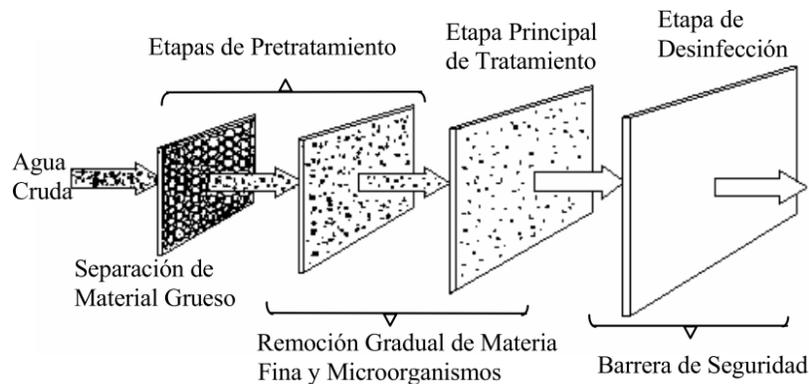


Figura 2.1. Procesos que integran el sistema de tratamiento FiME.

Tomado de OPS & CEPIS, (2005).

El sistema FiME está formado por tres componentes principales, el Filtro Grueso Dinámico (FGDi), la Filtración Gruesa (FG) y la FLA, además de incluir una etapa de desinfección al final del proceso como barrera de seguridad. Para la implementación de la FiME se pueden emplear diferentes combinaciones de filtración en grava, lo cual va a depender de la calidad del afluente a ser tratado, razón por la cual es de gran importancia la selección y protección de la fuente de abastecimiento a emplear y así prevenir el deterioro de las estructuras y el aumento en los costos de tratamiento (L. D. Sánchez et al., 2007).

2.2.1.3.1 Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

Los Filtros Gruesos Dinámicos consisten en tanques de dos o más unidades en paralelo, formados por tres capas de grava de diferente tamaño, ubicándose la capa más fina en la superficie. El agua se filtra por medio del lecho desde la superficie hasta el fondo, donde se encuentra el sistema de drenaje, para luego dirigirse al siguiente proceso de tratamiento (L. D. Sánchez et al., 2007) (Figura 2.2).

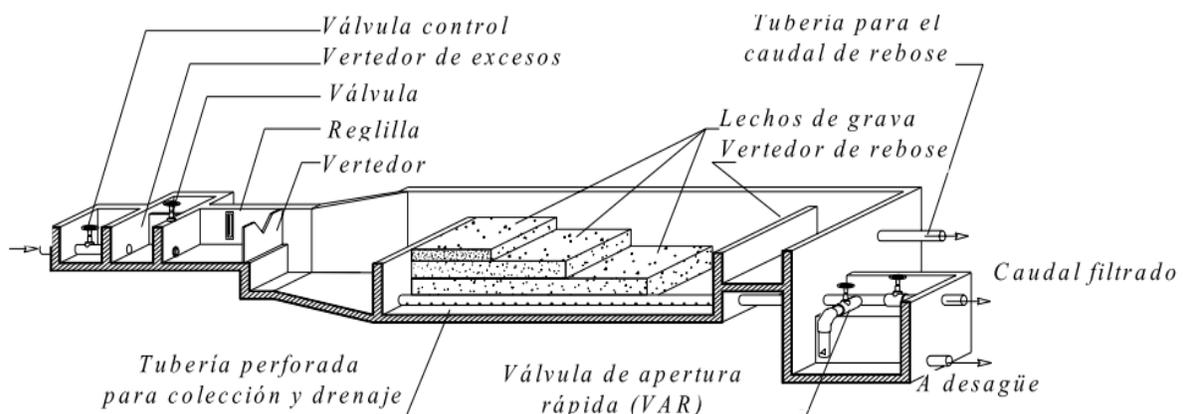


Figura 2.2. Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico (FGDi).

Tomado de OPS & CEPIS, (2005).

En este proceso se controlan los picos de turbiedad para resguardar el funcionamiento de la planta de tratamiento cuando se presentan altas cargas de sólidos (OPS & CEPIS, 2005), de acuerdo a Sánchez et al. (2007), han reportado una reducción entre el 23 y 77 % en los sólidos suspendidos. Estos filtros funcionan con una tasa constante al inicio de la operación y la pérdida de carga aumenta de forma gradual en respuesta a la resistencia del flujo en el lecho, manteniéndose una pérdida de carga pequeña, ya que la grava que se emplea es gruesa. La limpieza se hace necesaria cuando el agua sobrenadante llega a la altura del vertedero de salida (L. D. Sánchez et al., 2007). En el Anexo 1 se presentan los lineamientos para el diseño de estos filtros.

2.2.1.3.2 Filtro Grueso Ascendente (FGA)

En este tipo de filtros el flujo del agua se mueve por medio del lecho de grava desde abajo hacia arriba, disminuyendo el tamaño de la grava con la dirección del flujo, para lo cual se ubica un sistema de tuberías en el fondo de la estructura que distribuye uniformemente el flujo de agua (OPS & CEPIS, 2005). Cuenta con la ventaja que las partículas de mayor diámetro y más pesadas son removidas primero en el fondo del filtro, facilitando el proceso de lavado, porque las partículas se pueden remover fácilmente por acción de la gravedad al abrir la válvula de limpieza (L. D. Sánchez et al., 2007). Se presentan dos tipos de FGA que se describen a continuación:

- ◆ Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC): como se observa en la Figura 2.3. , la grava varía en tamaños, y esta se ubica en capas que se distribuyen desde la más gruesa en el fondo hasta la más fina en la superficie (L. D. Sánchez et al., 2007).

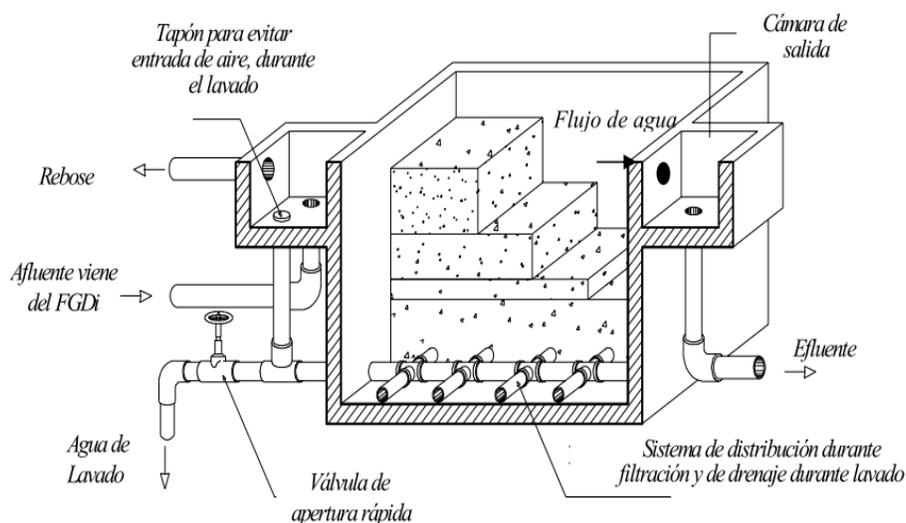


Figura 2.3. Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas (FGAC).
Tomado de OPS & CEPIS, (2005).

- ◆ Filtro Grueso Ascendente en Serie (FGAS): está formado de 2 a 3 unidades y en cada una de estas se coloca un tamaño de grava diferente, iniciando la filtración con la grava más gruesa hasta la más fina en la última etapa (Figura 2.4). Este sistema es utilizado en aguas con mayor contaminación (L. D. Sánchez et al., 2007).

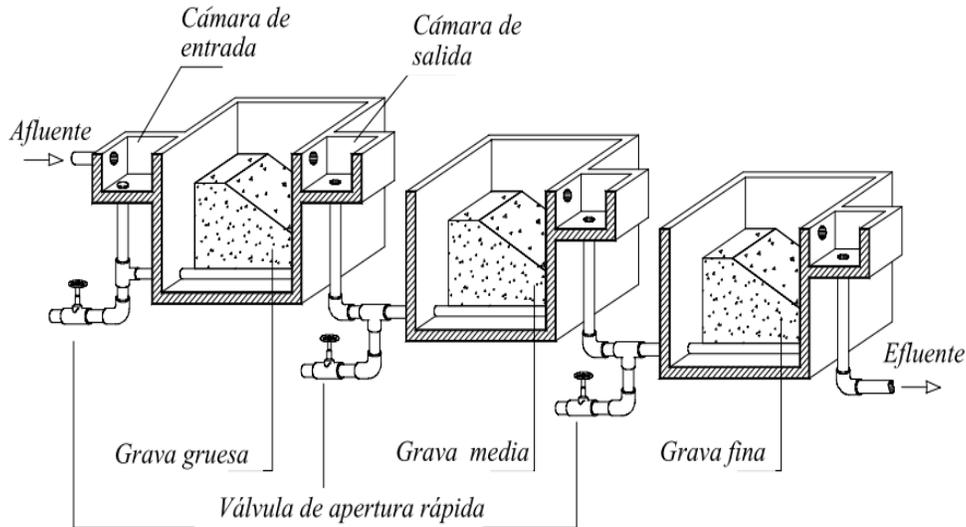


Figura 2.4. Corte isométrico de un filtro grueso ascendente en serie (FGAS)
Tomado de OPS & CEPIS, (2005).

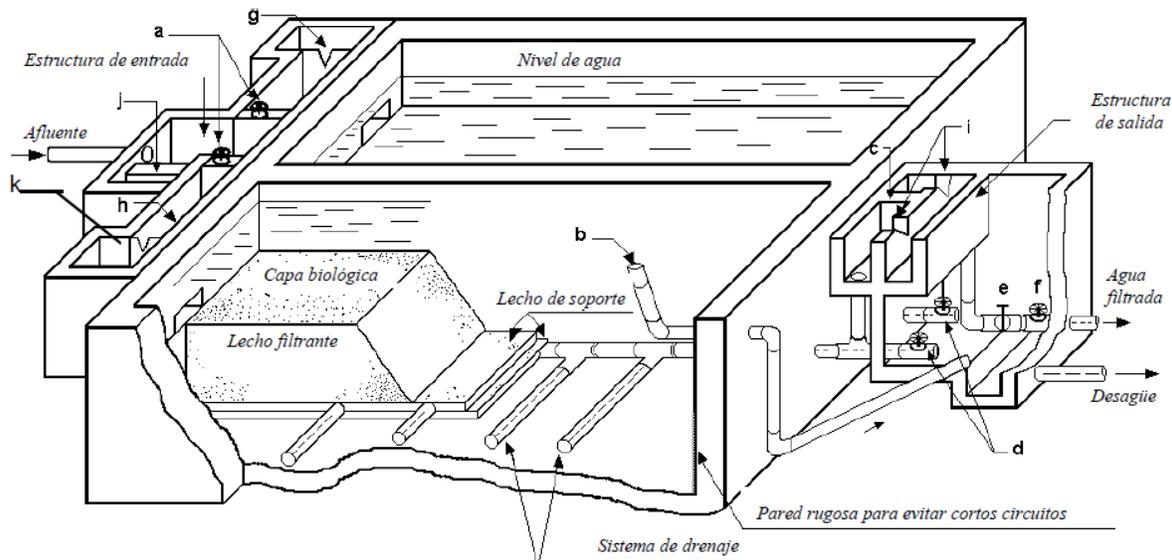
Para el diseño de estas estructuras se muestran los criterios de diseño básicos en el Anexo 2.

2.2.1.3.3 Filtro Lento en Arena (FLA)

Un sistema de FLA se compone por una estructura que alberga un sistema de drenaje sobre el cual se ubica un lecho filtrante y una capa de agua sobrenadante con el respectivo control de flujo, como se muestra en la Figura 2.5. Este proceso es complejo y combina la acción de mecanismos biológicos y fisicoquímicos. El agua que ingresa al filtro después del pretratamiento posee materia orgánica e inorgánica que pasa a través del lecho del filtro por acción de la presión ejercida por el agua sobrenadante. En el agua sobrenadante es donde se inicia el tratamiento, se sedimentan las partículas de mayor peso y se favorece la fotosíntesis y con esto el desarrollo de algas que suman materia orgánica al agua, esto facilita la labor de los microorganismos que necesitan esa fuente de nutrientes para crecer y así permitir que el material soluble pueda ser removido en el medio filtrante, es por esto que el lecho de arena actúa como removedor de la materia orgánica, organismos aeróbicos y biomasa (L. D. Sánchez et al., 2007).

Como lo describen Sánchez et al., (2007), los procesos biológicos que se presentan en el filtro se deben mantener, de forma que se garantice la presencia de suficiente oxígeno y

nutrientes, lo que hace necesario el control del caudal para mantener una correcta tasa de filtración, este control se puede hacer a la entrada o a la salida del filtro.



- | | |
|---|---|
| a. Válvula para controlar la entra de agua y regular la velocidad de filtración | f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia |
| b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante (cuello de ganso) | g. Vertedero de entrada |
| c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia | h. Indicador calibrado de flujo |
| d. Válvula para drenar lecho filtrante | i. Vertedero de salida |
| e. Válvula para desechar agua tratada | j. Vertedero de excesos |
| | k. Cámara de entrada a FLA |

Figura 2.5. Componentes básicos de un Filtro Lento en Arena (FLA).

Tomado de OPS & CEPIS, (2005).

De acuerdo a las Guías para diseño de sistemas de tratamiento FiME (OPS & CEPIS, 2005) para el tratamiento de una fuente de agua con este método se deben considerar varias alternativas, esto en relación a la calidad del agua de la fuente, la eficiencia de las etapas de tratamiento y la disponibilidad de recursos económicos. Las opciones son las siguientes:

- ◆ FGD_i + FLA
- ◆ FGD_i + FGAC + FLA
- ◆ FGD_i + FGAS + FLA

A partir de las características descritas en el Cuadro 2.3, es posible hacer la selección de las alternativas adecuadas para el tratamiento FiME.

Cuadro 2.3. Modelo para la selección de las alternativas de pretratamiento adecuadas para el sistema de tratamiento FiME

Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70*
	Color Real (UC Pt-Co)	< 20	20-30	30-40	30-40 *
< 500		Sin FGA	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{30.3}
500 – 10 000		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{30.3}
10 000 – 20 000 *		FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS _{30.3}

Tomado de OPS & CEPIS, (2005). Notas: El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h. En todas las opciones se consideran una FGD_{i 2.0} y una FLA_{0.15}. *: Para turbiedad > 70 UNT, 20 000 UFC/100 mL o 40 UC, se recomienda realizar un estudio en planta piloto.

En el Cuadro 2.4 se comparan los criterios de diseño para los FLA de acuerdo a la experiencia de diferentes autores, para el factor del periodo de diseño es importante tomar en cuenta que al tomar periodos más cortos se disminuye el riesgo de sobredimensionar las estructuras.

Cuadro 2.4. Comparación de criterios para el diseño de filtros lentos en arena (FLA)

Criterios de diseño	Ten States Standards (1987)	Huisman y Wood (1974)	Visscher, et al. (1987)	Galvis, et al. (1998)
Período de diseño (años)	N.R.	N.R.	10 - 15	8 – 12
Período de operación (h/d)	24	24	24	24
Tasa de filtración (m/h)	0,08 – 0,24	0,1 – 0,4	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3
Lecho de arena:				
• Altura inicial (m)	0,8	1,2	0,9	0,8
• Altura mínima (m)	N.R.	0,7	0,5	0,5
• Tamaño efectivo (mm)	0,30 – 0,45	0,15 – 0,35	0,15 – 0,30	0,15 – 0,30
Coefficiente de uniformidad:				
• Aceptable	N.R.	< 3	< 5	< 4
• Preferible	≤ 2,5	< 2	< 3	< 3
Altura lecho de soporte con drenaje (m)	0,4 – 0,6	N.R.	0,3 – 0,5	0,25
Altura máx. del agua sobrenadante (m)	0,9	1 – 1,5	1	0,75
Borde libre (m)	N.R.	0,2 – 0,3	0,1	0,1
Área superficial máxima (m ²)	N.R.	N.R.	< 200	< 100

Tomado de Sánchez et al., (2007) Notas: N.R.: No reportado

En el Cuadro 2.5 se comparan los valores máximos en los parámetros de turbiedad, color real y coliformes para los sistemas de tratamiento descritos anteriormente, lo cual facilita el proceso de selección para la potabilización de acuerdo a la calidad del agua del afluente.

Cuadro 2.5. Parámetros de diseño para diferentes sistemas de tratamiento por filtración

Sistema de tratamiento	Valores máximos		
	Turbiedad (UNT)	Color Real (UC Pt-Co)	Coliformes Fecales
Filtración rápida completa	1000	150	600 NMP/100 mL
Filtración directa descendente	30	25	2500 NMP/100 mL *
Filtración directa ascendente	100	60	N.R.
Filtración directa ascendente-descendente	250	60	N.R.
FLA	20	15	500 NMP/100 mL
FiME	70	40	20 000 UFC/100 mL

Elaborado a partir de Vargas, (2004b) y OPS & CEPIS, (2005).

Notas: * NMP de coliformes totales en 100mL. N.R.: valor no reportado.

Por último en el Cuadro 2.6 se presenta las diferentes combinaciones de métodos de pretratamiento y tratamiento para la potabilización del agua comparados de acuerdo a la remoción de dos indicadores básicos, turbiedad y coliformes fecales.

Cuadro 2.6. Guía de comparación de procesos de tratamiento para remover turbiedad y contaminación fecal

Etapa de tratamiento y distribución	Turbiedad (UNT)			Coliformes fecales (UFC/100mL)		
	Remoción (%)*	Carga promedio	Carga Máxima	Remoción (%)*	Carga promedio	Carga Máxima
Cribado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Sedimentación	50	60	600	50	1 000	10 000
FG	80	30	300	90	500	5 000
FLA	>90	6	60	95	50	500
Desinfección	N.A.	<1	<5	>99,9	<3	<25
Red de distribución	N.A.	<1	<5	N.A.	<1	<1

Tomado de Galvis, Latorre, & Visscher (1999).

*Remociones esperadas en cada etapa para cumplir con los objetivos de tratamiento.

N.A.: no aplica, porque la etapa de tratamiento o el proceso no es específico para remover turbiedad o bacterias.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO

El acueducto administrado por la ASADA de San Isidro de El Guarco, se localiza de acuerdo a la división territorial de Costa Rica en la provincia N°3 – Cartago, cantón N°8 - El Guarco, distrito N°2 – San Isidro (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2009), en la comunidad que lleva este mismo nombre. En la Figura 3.1 se muestra la ubicación de San Isidro y la ASADA en relación al territorio nacional.

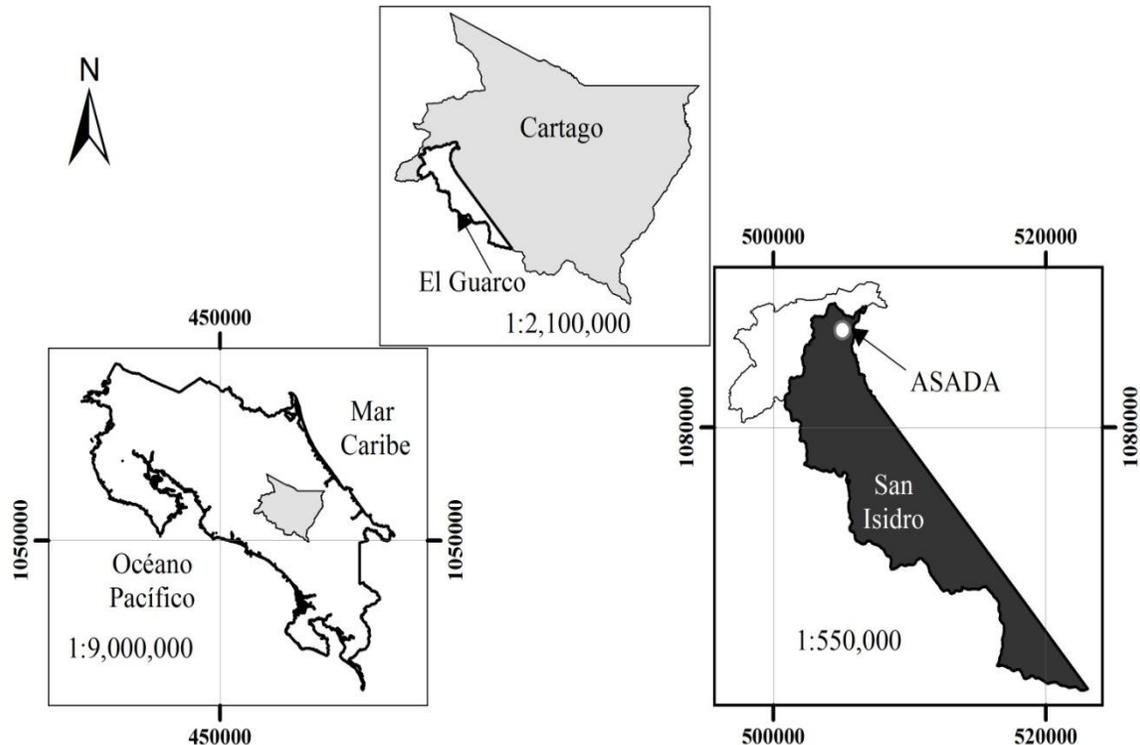


Figura 3.1. Mapa de ubicación del lugar en estudio

Elaborado a partir del Atlas Digital (Tecnológico de Costa Rica, 2014)

El distrito de San Isidro tiene una altura máxima de 1 388 msnm (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2009), se ubica en el Valle Oriental de la región climática Central, con influencia del Caribe, lo cual favorece que durante los meses secos (enero a marzo) las temperaturas no sean tan altas y la humedad ambiental no sea tan baja (Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), 2008). Cuenta con temperatura media anual entre 18 y 20 °C y precipitación promedio anual entre los 1500 y 2000 mm (IMN, 2009).

De acuerdo a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) (2006) el cantón de El Guarco presenta amenazas hidrometeorológicas definidas por los ríos y quebradas que lo recorren; de la totalidad de la red que lo atraviesa se destacan los ríos Purires, Lobo y la quebrada Barahona, los cuales tienen influencia el sector abastecido por el acueducto y las cercanías de las fuentes de captación. Estos ríos han disminuido la frecuencia de períodos de

inundaciones, razón que ha facilitado el crecimiento urbano en sus orillas y sumado al lanzamiento de residuos sólidos en los cauces, se ha reducido la capacidad de la sección hidráulica de los mismos, lo cual facilita el desbordamiento.

Durante el mes de octubre del año 2015, se presentaron varios eventos hidrometeorológicos en El Guarco, con el aumento de la intensidad de las lluvias se dio un incremento en el caudal de los ríos y quebradas (Representaciones Televisivas Repretel S.A, 2015), lo cual ocasionó en el caso específico de la comunidad de San Isidro, la crecida del río Lobo, que provocó afectaciones en las casas ubicadas en las cercanías del cauce, debilitamiento de la estructura de un puente en el sector de La Silvia y ruptura de la tubería de conducción del acueducto.

Otras amenazas naturales de interés que afectan la zona de San Isidro, de acuerdo a la CNE (2006), son las amenazas geológicas. Esto se debe al efecto del suelo que favorece las amplificaciones de la intensidad sísmica en ciertos lugares, se ven afectados los poblados de El Tejar y San Isidro, además de la ocurrencia de deslizamientos que afectan los poblados al sur del cantón y todos los ubicados a lo largo de la Carretera Interamericana. Asimismo la actividad volcánica resultado de la cercanía de los volcanes Irazú y Turrialba podrían afectar el cantón, con caída de cenizas, generación de gases y avalanchas de lodo en el cauce del río Reventado.

En cuanto al Índice de Desarrollo Social (IDS), el cantón de El Guarco se ubica en la posición 30 (de un total de 59), con un IDS de 61,0, mientras que el distrito de San Isidro se ubica con IDS Distrital de 57,1, lo cual lo coloca en un nivel bajo de menor desarrollo relativo, con la posición 278 de un total de 477 (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), 2013).

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO

El acueducto administrado por la ASADA de San Isidro de El Guarco brinda el servicio de agua potable a la comunidad de San Isidro, de acuerdo a los reportes para el mes de diciembre de 2015, el acueducto cuenta con 567 abonados, de los cuales un 13% correspondieron a abonados de tipo empresarial, institucional y comercial, representando un 87% de sus abonados hogares, con una cobertura del 100% en micromedición.

El sistema del acueducto funciona por gravedad y está compuesto por cuatro fuentes de abastecimiento en las cuales se ubican 6 captaciones, dos son tipo naciente, las captaciones Casa Blanca N°1 y la captación El Gringo, y cuatro corresponden a captaciones de agua superficial, las captaciones Casa Blanca N°2, Lobo N°1 (nueva), Lobo N°2 y Lobo N°1 (antigua). Como se observa en la Figura 3.2, todas las fuentes de abastecimiento cuentan con línea de conducción que las conecta a un tanque de reunión, a partir del cual continúa la línea de conducción, que cruza la Carretera Interamericana y pasa por la zona de Guatuso

de El Guarco, con dos tanques quiebra gradiente en el recorrido, hasta llegar al sistema de tratamiento ubicado al noroeste del centro poblacional de San Isidro. El sistema de tratamiento está compuesto por un tanque estabilizador, un filtro grueso ascendente y el tanque de almacenamiento donde se realiza la desinfección con pastillas de cloro y dosificación continua.

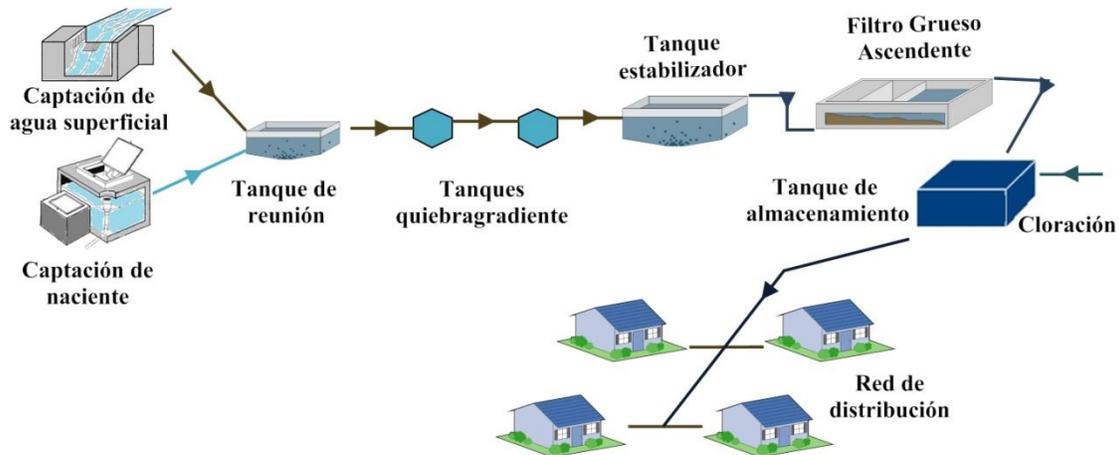


Figura 3.2. Esquema del sistema del acueducto de San Isidro

La Figura 3.3 se presenta la ubicación y distribución de los componentes del acueducto. Las captaciones se distribuyen en dos sectores, el sector Lobo, donde se ubican las captaciones de agua superficial Lobo, muy cercanas a la estructura de captación de la naciente El Gringo y el sector Casa Blanca, donde se localizan las captaciones Casa Blanca N°1 de naciente y Casa Blanca N°2 de agua superficial. Dentro del sector Lobo está el tanque de reunión donde se mezcla el agua que proviene de las 6 captaciones. Estas estructuras presentan fácil acceso y se encuentran muy cercanas a la carretera Interamericana, sin embargo están dentro de propiedades privadas. Los tanques quiebra gradiente y toda la red de conducción también se ubican en propiedad privada.

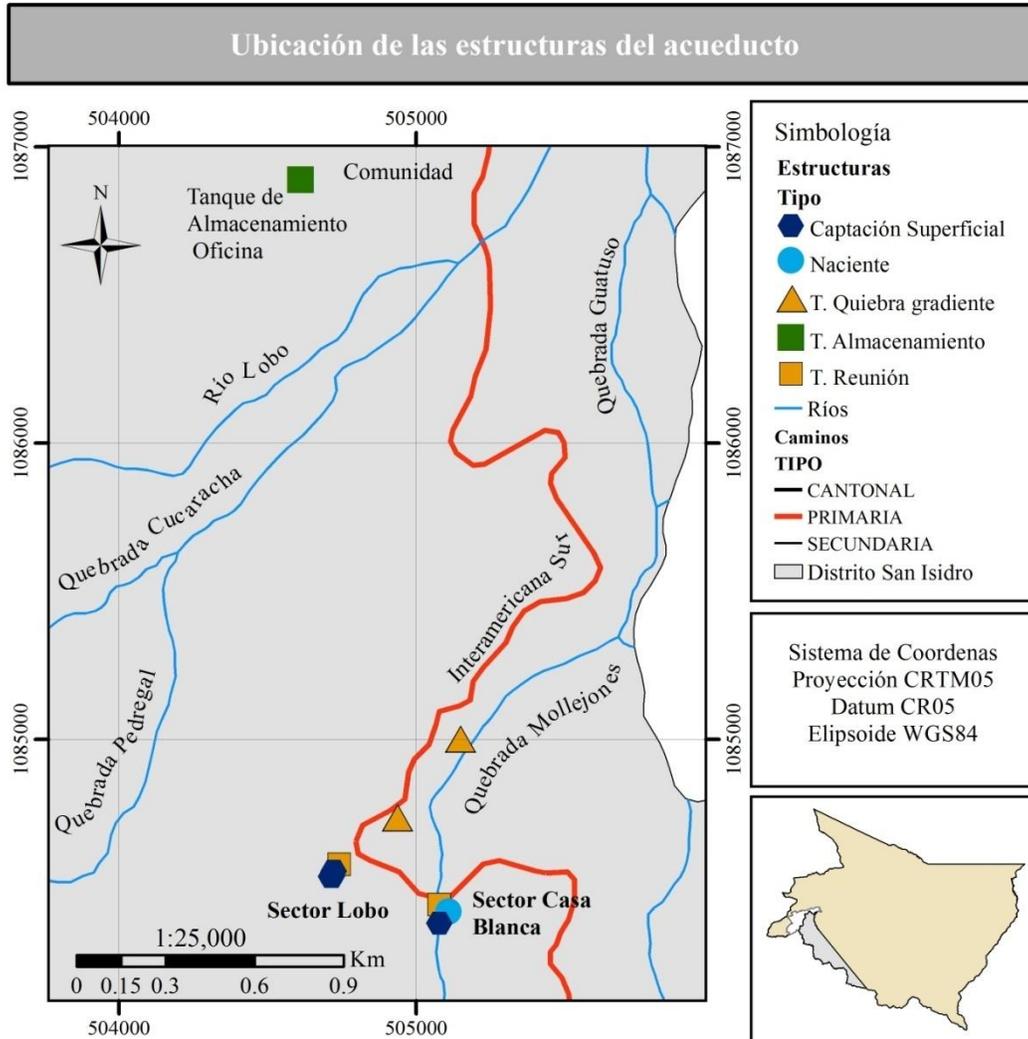


Figura 3.3. Mapa con la identificación de los componentes principales del acueducto
 Elaborado a partir del Atlas Digital (Tecnológico de Costa Rica, 2014) y puntos georreferenciados.

La ASADA está conformada por la junta directiva, una persona encargada de la administración y otra encargada de la fontanería. La junta directiva se reúne para sesiones ordinarias dos veces al mes y si es necesario realizan sesiones extraordinarias, para el periodo de junio 2015 a junio 2017 la conforman los miembros presentados en la Figura 3.4:

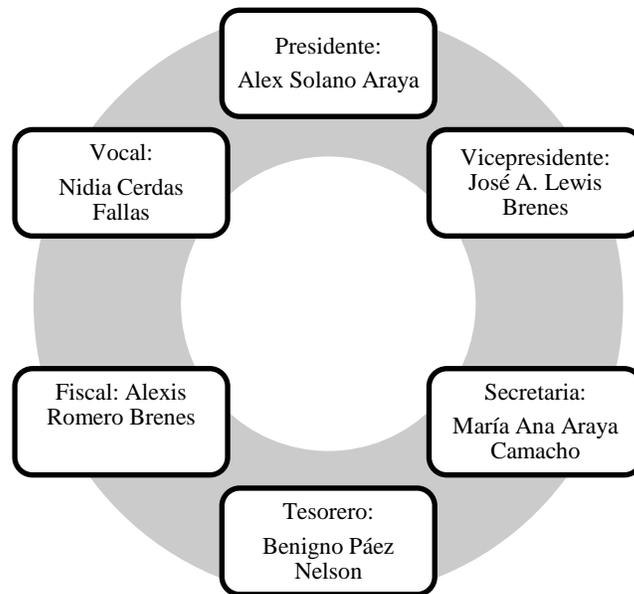


Figura 3.4. Conformación de la junta directiva de la ASADA de San Isidro de El Guarco, Cartago

Entre las actividades calendarizadas por el acueducto se tiene:

- Mediciones de cloro residual: se realiza diariamente y se dispone del respectivo registro de la información
- Aforos: realizados en cada fuente mensualmente y se dispone del respectivo registro
- Limpieza de tanque de almacenamiento, tanque estabilizador y filtro: el primer jueves de cada mes
- Limpieza de las captaciones: tres veces a la semana
- Recorrido desde las captaciones hasta la planta de tratamiento por la tubería de conducción: una vez a la semana
- Corta por morosidad: bimestral
- Lecturas de medidores: es realizado por el fontanero de forma manual la última semana de cada mes
- Cobro: este se realiza mensualmente por medio de un sistema de pago electrónico en una recaudadora localizada en el centro poblacional
- Conexión y reconexión de pajas
- Limpieza de hidrantes
- Purga de la red de distribución
- Análisis de laboratorio: se realiza el muestreo en las fuentes, tanque de almacenamiento y puntos en la red de distribución: frecuencia semestral en el periodo de 2013 a 2015.

Desde noviembre de 2013 el acueducto realiza aforos mensuales en cada una de las captaciones. Los aforos son realizados por el fontanero del acueducto con la ayuda de un

asistente. A partir de junio de 2015 la ASADA cambió el equipo con el cual realizaba la cloración, se mantuvo el método de erosión con pastillas, sin embargo efectuaron un cambio en el equipo, tipo de pastillas, tipo de regulación y empezaron a contar con asistencia técnica en el proceso.

3.3 OFERTA DE RECURSO HÍDRICO EN LAS FUENTES CAPTADAS

Para la determinación del recurso hídrico disponible para el abastecimiento de la población se emplearon los registros de aforos encontrados en el archivo de la ASADA, de los cuales se halló reportes a partir de noviembre de 2013. Además para el periodo de febrero a diciembre del 2015 se realizaron los aforos mensualmente, en compañía del fontanero de la ASADA, estos aforos fueron planteados para la última semana de cada mes, sin embargo la fecha varió de acuerdo a la disponibilidad y agenda de actividades del acueducto. Los aforos se realizaron con el método de volumétrico para 7 repeticiones, empleando un recipiente de volumen conocido. Para la medición del tiempo se empleó un cronómetro marca Casio, modelo HS-3. La ASADA no ha determinado un procedimiento para realizar los aforos o un punto específico, razón por la cual se identificaron en el Cuadro 3.1 los puntos donde el fontanero los realiza normalmente y donde las condiciones del sitio y la tubería lo permiten.

Cuadro 3.1. Descripción de los sitios donde se realiza el aforo de las captaciones del acueducto

Captación	Lugar donde se realiza el aforo
Casa Blanca N°1 (Naciente)	Hasta el mes de octubre de 2015 el aforo se realizó en la entrada al tanque de reunión de esta naciente, desconectando la manguera a la entrada. A partir de diciembre el aforo se efectuó en el lavado de la nueva estructura de captación.
Casa Blanca N° 2	El fontanero realizaba el aforo desconectando la tubería de PVC de 3'' a la salida de la estructura de captación, sin embargo la tubería se reduce a 2'', por lo cual se recomendó hacer el aforo en una unión en la tubería de 2'', no obstante en ninguno de los dos puntos se presentan las mejores condiciones para realizar el aforo debido a la pendiente del lugar y la cercanía con la quebrada.
Lobo N°1 (antigua)	Se realizó aguas abajo de la captación, en una unión de la tubería, antes de llegar a la conexión en el tanque de reunión. El sector es de difícil acceso y se encuentra en la orilla de una quebrada.
Lobo N°2	Para realizar el aforo se desconectó la tubería en la captación, el aforo se realizó sobre el cauce de la quebrada.
LoboN°1 (nueva)	La nueva estructura no facilita realizar el aforo y no cuenta con válvulas para cerrar el paso a la conducción, por lo que se realizó un aforo a la entrada en el tanque de reunión, donde la situación debido al espacio y el caudal fue complicada. Luego se realizó en la tubería de lavado para tener un valor de referencia, ya que no es posible cerrar el flujo que se dirige al tanque de reunión.
El Gringo (Naciente)	Debido a la situación particular de esta captación el aforo se efectuó en una unión de la manguera antes de la llegada al tanque de reunión, en las afueras de la propiedad conocida como "El Cubano".

Por otra parte se recopiló información de la estación termopluviométrica del IMN más cercana al lugar en estudio, para registrar las variaciones en el tiempo de la temperatura y precipitaciones con relación a los caudales aforados en las fuentes de abastecimiento empleadas por la ASADA. La estación termopluviométrica más cercana se ubicó en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) en Cartago a 1360 msnm.

3.4 CALIDAD DEL AGUA CAPTADA Y DISTRIBUIDA

La determinación de la calidad del agua captada en cada una de las fuentes, sistema de tratamiento, tanque de almacenamiento y red de distribución se efectuó con la recopilación de los análisis de laboratorio realizados por la ASADA, con reportes desde el año 2013. Además durante el periodo de abril a noviembre de 2015 se efectuaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de agua tomadas en las fuentes de abastecimiento, tanque de reunión, sistema de tratamiento, tanque de almacenamiento y red de distribución. Se determinó una frecuencia de muestreo mensual, considerando la disponibilidad del fontanero del acueducto, los costos de los análisis y transporte de las muestras. Los análisis se seleccionaron a partir de los parámetros de calidad del agua, establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015), dentro de las categorías básicas en los niveles de Control Operativo (CO) (turbiedad, olor, sabor, pH y cloro residual) y Nivel Primero (N1) (turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, cloro residual, coliformes fecales y E. Coli). También se seleccionó la cantidad de muestras a tomar en la red de distribución según lo establece el reglamento, tomándose 3 muestras distribuidas en diferentes puntos de la red, contemplando: casas, comercios, centro de salud, escuela, entre otros. Se realizó un total de 75 muestreos, 25 en las fuentes de abasto, 32 entre tanque de reunión, sistema de tratamiento y tanque de almacenamiento, y 18 en la red de distribución.

Para los muestreos se determinó en campo los parámetros de pH, temperatura y cloro residual (cuando correspondía). Se recolectó una muestra en una botella plástica PET (tereftalato de polietileno), efectuando tres enjuagues del recipiente de 355 mL, para luego realizar la medición de conductividad y turbiedad en el laboratorio de Agua Potable y Aire en el edificio de Ingeniería Ambiental del TEC, y una segunda muestra en un recipiente plástico esterilizado de 100 mL y con sello de seguridad, para realizar el análisis microbiológico en el laboratorio de Microbiología en el edificio de Ingeniería Ambiental del TEC o bien para el conteo se llevó la muestra microbiológica al laboratorio de microbiología en el CEQIATEC (Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos).

La toma de las muestras en las fuentes superficiales se realizó sumergiendo el recipiente boca abajo, para girarlo hasta que apuntara hacia arriba con la boca dirigida a la corriente, en un sector donde se encontrara el agua en movimiento y evitando el contacto con la orilla

y lecho de la quebrada. En las nacientes se tomó la muestra en la tubería de salida y en los tanques en la superficie donde la tapa permite el acceso. Por otra parte, para las muestras en la red de distribución se dejó correr el agua durante un minuto para limpiar la tubería, luego se desinfectó el grifo flameándolo con pinzas y alcohol de 95° o en caso de ser el grifo plástico y no poder flamear, se desinfectó con algodón y alcohol de 70°. Luego se abrió nuevamente el grifo para tomar las muestras. Todas las muestras fueron mantenidas y transportadas en una hielera plástica con hielo para ser llevadas al laboratorio. En el Cuadro 3.2 se presenta el método y equipo que se empleó para los análisis.

Cuadro 3.2. Método y equipo utilizado para la medición de los parámetros de calidad de agua de las muestras tomadas en el acueducto

Parámetro	Método	Equipo	Especificaciones
Temperatura	2550*		Rango: (-5,0 – 60,0)°C
pH	4500-H+*	pH metro Marca: Hanna Instruments Modelo: HI 98128	Precisión: ± 0,5 °C Rango: -2,00 – 16,00 Precisión: ± 0,05
Turbidez	2130 Método Nefelométrico*	Turbidímetro portátil Marca: Orbeco Hellige Modelo: TB200	Rango: (0,01–1100) UNT Precisión: ± 2% para lecturas de (0 – 500) UNT ± 3% para lecturas de (500-1100) UNT
Conductividad	2510*	Conductímetro y pH metro Marca: Thermo Scientific Orion Modelo: 4-Star Plus	Rango: (0,000–3000) mS/cm Precisión: 0,01 µ.S/cm
Cloro residual	Adaptación del Método Colorimétrico DPD	Colorímetro portátil Marca: Hanna Instruments Modelo: HI 701	Rango: (0,00–2,50) ppm Precisión: ± 0,03
Coliformes totales	Presencia o ausencia con Colilert	Kit de análisis Colilert de IDEXX	Puede detectar una concentración de 1 UFC/100 ml dentro de 24 horas, hasta en presencia de 2 millones de bacterias
E. Coli	Cuantificación de NMP/100 con método Colilert y Quanti-Tray**	Lámpara Ultravioleta	heterotróficas por cada 100 ml.

Notas: *Standard methods for the examination of water & wastewater (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2012). **Este método fue realizado por el personal del laboratorio de Microbiología del CEQIATEC

3.5 DEMANDA ACTUAL DE AGUA POTABLE

De acuerdo a los *Criterios para proyectos de abastecimiento de agua* (ICAA & Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM), 2010) el consumo domiciliario se debe estimar de acuerdo al consumo domiciliario medido obtenido de la facturación en el sistema en estudio, considerando la densidad de habitantes por vivienda de acuerdo al último censo, además del consumo domiciliario no medido que se debe suponer como un 50% más a lo establecido mediante medición. Asimismo establece que el consumo no domiciliario se debe definir y proyectar en función de su peso con respecto al consumo domiciliario, para obtener un consumo total actual al sumar los valores parciales calculados.

Para determinar la demanda actual de agua potable de la población abastecida por el acueducto se accedió a los registros de consumo disponibles en el sistema ERP (Enterprise Resource Planning, por sus siglas en inglés), SADAweb (Software Administrador de Acueductos), creado por Consulting & Development Group. Este sistema ha sido utilizado por el acueducto desde julio del año 2014, permite acceder a los registros históricos de consumo y la clasificación del abonado, siendo esta “DOMIPRE” para abonados domiciliarios o bien “EMPREGO” para abonados no domiciliarios lo cual incluye abonados de tipo comercial, empresarial, industrial e institucional. Además de los consumos totales facturados por mes y la cantidad de usuarios activos en el periodo, entre otras características para la administración.

Se recopiló la información de consumo total y cantidad de abonados por mes, de acuerdo al tipo de abonado durante el periodo de julio de 2014 a diciembre del año 2015, se calculó el consumo promedio mensual y anual por tipo de abonado, las variaciones en la demanda por mes y en la cantidad de abonados. A partir de lo anterior se realizó una aproximación del consumo *per cápita*, considerando un promedio de 4,4 habitantes por vivienda de acuerdo a información estadística del censo del año 2011 para el cantón de El Guarco, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (Solano, 2013), ya que la ASADA no dispone de un censo de la población a la que brinda el servicio. Para el consumo por persona se asumió los abonados de tipo “EMPREGO” como domiciliarios, porque la ASADA no cuenta con clasificación diferenciada de estos, el registro de abonados muestra el número de paja, nombre del dueño de la paja y en algunos casos la dirección, lo que no permite diferenciar entre el consumo de una institución, comercio, empresa o industria.

Se planteó realizar aforos a la entrada del sistema de tratamiento para determinar el caudal disponible en la planta. Los aforos fueron acordados con la administración para realizarse con ayuda del fontanero durante los días de lavado del sistema, los cuales fueron establecidos por la ASADA durante los primeros jueves de cada mes. Sin embargo por diferentes circunstancias (no se realizó lavado, problemas con el fontanero, coordinación de actividades y cambios de fecha) solo se realizó un aforo, el cual se efectuó a la entrada del tanque de almacenamiento, porque fue el único sitio donde se tenía espacio disponible para colocar un recipiente de mayor tamaño, adecuado al caudal a aforar, sin poner en riesgo la seguridad de quienes realizaron el aforo. Se empleó un recipiente plástico de 172 L, un cronómetro marca Casio, modelo HS-3 y se realizaron siete repeticiones.

3.6 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA FUTURA DE AGUA POTABLE

3.6.1 Proyección poblacional

Para realizar la proyección de la población de la comunidad de San Isidro se solicitó información demográfica de la zona que abastece el acueducto al INEC, de acuerdo a los últimos cuatro censos (1973, 1984, 2000 y 2011), ya que la ASADA desconoce la cantidad de población a la que abastece. La solicitud de información se realizó en el Centro de Información, en el Área de Servicios de Información y Divulgación Estadística, el día 9 de febrero de 2015.

Con la información obtenida se determinó la tasa de crecimiento poblacional entre los censos utilizando cuatro fórmulas diferentes para el cálculo de la tasa: tasa de crecimiento aritmético, tasa de crecimiento geométrico, tasa de crecimiento geométrico simplificado y la tasa de crecimiento exponencial, las cuales se describen en el Anexo 5.

Además se empleó tres métodos matemáticos de cálculo para realizar la proyección de la población, el método aritmético, el método geométrico y el método logarítmico. El método de cálculo seleccionado para la proyección de la población va a depender del nivel de complejidad del sistema y del comportamiento histórico registrado en la población (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010). En el Anexo 6 se describen las fórmulas y los métodos de proyección mencionados. Como se contó con la información de cuatro censos, se utilizó las poblaciones de los últimos dos (2000 y 2011) para la proyecciones con los métodos aritmético y geométrico, además de la población del censo de 1984 en el método logarítmico, ya que se consideró más adecuado el uso de los datos más recientes por efecto de las tendencias que modifican el crecimiento de la población (Comisión Nacional del Agua, 1998).

3.6.2 Cálculo del consumo futuro

La dotación neta corresponde a la cantidad de agua mínima que es requiere para satisfacer las necesidades básicas de un abonado o de un habitante, sin considerar las pérdidas que se den en el sistema del acueducto (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010). Este valor fue calculado en el apartado 4.3 a partir de la micromedición. También se debe considerar el efecto de las pérdidas, ya sean de tipo comercial o técnicas en el sistema del acueducto, el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, (2010) establece un valor máximo de un 7% de pérdidas admisibles en las red de distribución y un porcentaje no mayor al 25% en el total. Para Costa Rica se recomienda la reducción de estos valores de agua no contabilizada (ANC) a valores del 25% (ICAA & IFAM, 2010).

A partir de lo anterior se calculó:

- La dotación bruta: es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, en la cual se consideran las pérdidas máximas admisibles, se calcula con la siguiente ecuación (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010):

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

Ecuación 1.

donde:

d_{bruta} : dotación bruta (L/p*d)

d_{neta} : dotación neta (L/p*d)

$\%p$: porcentaje de pérdidas máximas, se asumió un porcentaje de pérdidas del 20%.

- El caudal medio diario (Qmd): es el caudal medio calculado para la población proyectada, considerando la dotación bruta calculada. Corresponde al promedio de consumos diarios de caudal durante un año. Se aplica la siguiente ecuación (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010):

$$Qmd = \frac{P \times d_{bruta}}{86400}$$

Ecuación 2.

donde:

Qmd : caudal medio diario (L/s)

d_{bruta} : dotación bruta (L/p*d)

- El caudal máximo diario (QMD): es el consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un año. Para el cálculo se multiplica el Qmd por el coeficiente de consumo máximo k_1 , de acuerdo a la siguiente ecuación (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010):

$$QMD = Qmd \times k_1$$

Ecuación 3.

donde:

QMD : caudal máximo diario (L/s)

Qmd : caudal medio diario (L/s)

k_1 : coeficiente de consumo máximo diario, para el que se asumió un valor de k_1 de 1,2 con respecto al rango de 1,1 a 1,3 establecido por el ICAA (2001).

- El caudal máximo horario (QMH): representa el consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año, sin considerar el caudal de incendio. Para el cálculo se necesita del coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , de acuerdo a (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010):

$$QMH = QMD \times k_2$$

Ecuación 4.

donde:

QMH: caudal máximo horario (L/s)

QMD: caudal máximo diario (L/s)

*k*₂: coeficiente de consumo máximo horario, para el que se asumió un valor de *k*₂ de 1,7 con respecto al rango de 1,6 a 2,0 establecido por el ICAA (2001), la recomendación de usar 1,6 para sistemas de alto índice de ANC hasta 1,8 al reducir el índice (ICAA & IFAM, 2010) y de un valor entre 1,3 y 1,7 de acuerdo al Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, (2010).

3.7 DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL ACUEDUCTO

Para realizar la descripción y evaluación de los componentes del acueducto se efectuaron visitas de campo a cada una de las estructuras, las cuales fueron programadas de acuerdo a la disponibilidad de la ASADA y se desarrollaron en compañía del fontanero del acueducto. Durante el recorrido se registró información de las características de los alrededores y cada componente, se georreferenció cada uno de estos para lo que se empleó un GPS marca Garmin modelo map 64s y se reportaron las coordenadas geográficas de cada lugar en grados decimales.

La evaluación de los componentes se realizó con las Guías de Inspección SERSA (Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud), las cuales son empleadas por el Ministerio de Salud (MS) al realizar las inspecciones sanitarias en los acueductos. Las guías permiten identificar los riesgos que pueden afectar la calidad de agua distribuida y valorar el estado de las estructuras de captación, conducción, almacenamiento y distribución; además del entorno inmediato (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).

El sistema SERSA consiste de cinco fichas de inspección, tres fichas para la evaluación de las fuentes de abastecimiento (nacientes o manantiales, fuentes superficiales y pozos), otra para los tanques de almacenamiento y la quinta que evalúa la línea de conducción y sistema de distribución. En las fichas se identifican los riesgos de acuerdo al diagnóstico de la infraestructura, que está compuesto de 10 preguntas, a las cuales se responde de forma afirmativa o negativa, siendo las respuestas “Sí” factores de riesgo. A partir del total de factores de riesgo identificados (total de “Sí”) se realiza la clasificación del riesgo, como se indica en el Cuadro 3.3. Además las fichas incluyen información general de la estructura, como material, frecuencia de limpieza y tipo (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).

Las guías incluyen las acciones a ser tomadas para disminuir los riesgos de acuerdo al factor de riesgo identificado. Para las fuentes de abastecimiento las acciones a tomar

incluyen una orden sanitaria y corrección de la situación con un plazo de un mes. En caso de riesgo alto es necesario elaborar un plan de emergencia y comunicar a la comunidad de la situación; el riesgo muy alto requiere de la convocatoria urgente de los actores sociales involucrados (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).

En el caso de los tanques de almacenamiento el riesgo bajo requiere aplicar las mejoras en un plazo de un mes. Los riesgos medio y alto requieren la corrección de los peligros en coordinación del nivel central y regional del MS, además del ICAA. El riesgo muy alto demanda la convocatoria de los actores sociales clave, girar una orden sanitaria y acciones correctivas en el plazo de un mes (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).

Los riesgos identificados en línea de conducción y red de distribución requieren corrección en un plazo de 5 días para los riesgos bajo, intermedio y alto; con la emisión de la orden sanitaria al identificarse el riesgo intermedio, un plan de emergencia y sensibilizar a la comunidad en caso de riesgo alto, y finalmente una orden sanitaria, convocatoria de actores sociales clave y acciones correctivas con un plazo de un mes al identificar el riesgo muy alto (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).

Cuadro 3.3. Clasificación de riesgo de acuerdo al sistema SERSA para los componentes evaluados en el acueducto

Cantidad de respuestas “Sí”	Clasificación del riesgo	Código de colores
0	Riesgo Nulo	Azul
1 – 2	Riesgo Bajo	Celeste
3 – 4	Riesgo Intermedio	Verde
5 – 7	Riesgo Alto	Amarillo
8 – 10	Riesgo Muy Alto	Rojo

Tomado del Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015)

3.8 MEDIDAS DE MEJORA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL ACUEDUCTO

A partir de las observaciones y evaluación realizada de cada uno de los componentes del sistema del acueducto durante las giras de campo, aforos, toma de muestras e información brindada por la ASADA, se realizó la propuesta de mejoras, con un enfoque más amplio en las fuentes de abastecimiento, tanque de reunión, tanques quiebra gradiente y sistema de tratamiento, además de la línea de conducción y red de distribución.

Se planteó el diseño de un desarenador compuesto de dos unidades en paralelo, después del tanque de reunión ya que el abastecimiento del acueducto depende de fuentes de agua superficial, las cuales acarrearán gran cantidad de grava, hojas y arena. La propuesta se realizó para un período de diseño de 15 años, en el cual se requeriría un QMD de 20,03 L/s

(Apartado 4.4), partiendo que las partículas a sedimentar presentan una densidad de 2650 Kg/m³, con un diámetro de 0,2 mm o mayor a una temperatura de 20°C, este valor de acuerdo a las muestras tomadas en el tanque de reunión (Cuadro 4.3). Se empleó una relación Largo/Ancho de 7 y se utilizó un caudal de diseño de 21L/s.

En el Anexo 7 se describe las fórmulas que fueron empleadas para determinar las dimensiones del desarenador, mientras que los cálculos fueron realizados en una hoja de Excel, se puede observar una muestra de esta en el Apéndice 15.

A partir de las condiciones encontradas y la valoración del tratamiento empleado para la potabilización en el acueducto se presenta el rediseño del sistema de tratamiento. Se rediseñó el sistema contemplando los caudales calculados en el apartado 4.4.2 y la calidad del agua de las fuentes y al pasar por el sistema de tratamiento, lo cual se mostró en el apartado 4.2.

Se consideró que el sistema más apropiado para la potabilización de las aguas captadas es el FiME, valorando además de la calidad del agua en las fuentes (Apartado 4.2), el tipo de comunidad, el acceso a recursos económicos para la implementación y mantenimiento del sistema, así como el acceso a personal capacitado para el funcionamiento permanente de la planta potabilizadora.

De acuerdo al Cuadro 2.3, se seleccionó un sistema FiME compuesto por FGD_i + FGAS₂ + FLA, manejando como factor de seguridad el rango de turbidez entre 20 – 50 UNT. Para los diseños de las estructuras se consideró un QMD de 20,03 L/s (Apartado 4.4), que corresponde a un periodo de diseño de 15 años y se empleó como caudal de diseño un caudal de 21 L/s. Se presenta en el Anexo 8 las fórmulas utilizadas para la determinación de las dimensiones de cada una de las estructuras. De igual forma se realizó el cálculo de las dimensiones en una hoja de Excel, las cuales se muestran en el Apéndice 16, Apéndice 17 y Apéndice 1, para la FGD_i, FGAS₂ y FLA respectivamente.

Con respecto al tanque de almacenamiento como parte de las opciones de mejora se calculó el volumen de almacenamiento requerido para la comunidad, con una población proyectada para el año 2030. El cálculo del volumen se realizó comparando los valores de volumen de regulación, contra incendios y de reserva, seleccionando el volumen que resulta mayor de los tres. Las fórmulas empleadas para el cálculo de cada uno de estos se presentan en el Anexo 9. En el caso del volumen contra incendios se asumió un caudal contra incendios de 10 L/s, sin embargo el ICCA (2001) recomienda un caudal de 8 L/s para poblaciones entre los 5000 y 15 000 habitantes y se proyectó una población promedio de 6073 habitantes para el año 2030 (Cuadro 4.7). Para el volumen de regulación se tomó un día como el tiempo de retención asumido y para el volumen de reserva se empleó un tiempo de reserva de 4h. Los cálculos fueron realizados en una hoja de Excel, se muestra en el Apéndice 19 un ejemplo de la hoja utilizada.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 OFERTA DE RECURSO HÍDRICO EN LAS FUENTES CAPTADAS

A partir de la información recopilada en el archivo de la ASADA de los aforos del periodo de 2014 (Apéndice 1) y con los aforos realizados durante el 2015 por la investigadora (Apéndice 2) se obtuvieron los valores de los caudales disponibles captados en cada una de las estructuras empleadas por el acueducto, como se muestra en el Cuadro 4.1. Los caudales totales disponibles en cada uno de los meses aumentan al comparar los años 2014 y 2015, a excepción del mes de diciembre. Durante el 2014 los meses con menor caudal registrado fueron marzo y abril, sin embargo se debe considerar que no se reportaron los aforos de la naciente Casa Blanca N°1 en el periodo de enero a abril de ese año y de igual forma aun cuando la naciente El Gringo está siendo empleada por la ASADA, el caudal disponible no siempre es constante, porque la naciente se ubica en propiedad privada y el fontanero no tiene acceso permanente a la estructura de la captación, actualmente el uso de la naciente permanece en un proceso legal entre la ASADA y el dueño de la propiedad, por lo cual se cubre primero las necesidades de la propiedad privada y luego el excedente queda disponible para la ASADA. Debido a lo anterior durante el 2015 no se reportaron valores de caudal para todos los meses, puesto que no siempre es posible realizar aforos, ya que no hay excedente.

Por otra parte en el mes de setiembre del año 2015 se presentó un aumento considerable en el caudal reportado, pues la captación Lobo N°1 (nueva) se aforó a la entrada del tanque de reunión, obteniéndose un caudal mayor. El valor obtenido presenta gran incertidumbre debido a las condiciones con que se cuenta, por efecto del caudal (una tubería de PVC de 4" completamente llena), volumen del recipiente y el sitio para hacer el aforo, dentro del tanque. Empero se realizó para tener un valor de referencia y compararlo con los otros aforos efectuados en la misma captación pero en la tubería de lavado, lugar que no se consideró adecuado porque no se dispone de una válvula para detener el flujo hacia la línea de conducción, de igual forma el aforo se efectuó como valor de referencia. Los aforos de esta fuente se comenzaron a realizar cuando entró en funcionamiento y dejó de emplearse la captación Lobo N°1 (antigua), que fue desconectada del sistema.

Cuadro 4.1. Caudales reportados para cada una de las captaciones de la ASADA durante el año 2014 y 2015

Mes	Caudal (L/s)												
	Casa Blanca N°1		Casa Blanca N°2		Lobo N°1 (antigua)		Lobo N°2		LoboN°1 (nueva)*	El Gringo		Total	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2015	2014	2015	2014	2015
Enero	N.R.	1,21	5,80	8,69	5,08	8,33	0,25	5,92	N.R.	0,30	2,09	11,43	26,24
Febrero	N.R.	1,17±0,07	5,00	10,24±1,49	5,05	11,40±2,14	0,20	5,23±0,12	N.R.	0,30	1,31±0,16	10,55	28,83
Marzo	N.R.	1,26±0,05	2,00	6,04±0,17	2,50	9,50±0,80	0,20	5,68±0,42	N.R.	0,25	1,97±0,13	4,95	22,14
Abril	N.R.	0,91±0,07	1,00	6,21±0,33	2,00	11,59±2,15	0,20	5,58±0,38	N.R.	0,20	0,38±0,01	3,40	22,07
Mayo	0,37	0,73±0,10	4,93	6,15±0,33	5,48	8,85±0,97	4,39	4,77±0,17	N.R.	N.R.	0,41±0,01	15,17	20,92
Junio	0,40	N.R.	2,21	N.R.	8,06	N.R.	0,54	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	11,21	N.R.
Julio	0,47	1,35±0,06	3,04	5,98±0,36	8,06	3,60±1,00	0,55	N.R.	N.R.	N.R.	2,16±0,28	12,12	12,83
Agosto	0,51	1,11±0,06	5,73	3,42±0,70	7,49	2,44±0,21	3,88	4,73±0,36	11,54	N.R.	N.R.	17,61	23,07
Setiembre	0,92	0,81±0,04	9,09	7,86±1,39	8,66	N.R.	5,68	6,55±0,98	22,00±0,01	N.R.	N.R.	24,35	36,92
Octubre	0,64	N.R.	7,98	9,83±0,78	8,87	N.R.	4,47	4,59±0,28	13,67±0,73	N.R.	N.R.	21,96	27,99
Noviembre	0,45	1,52±0,05	6,40	5,10±0,26	5,25	N.R.	8,20	4,35±0,13	13,67±1,55	N.R.	N.R.	20,30	24,47
Diciembre	1,02	1,19±0,03	10,10	2,49±0,14	4,26	N.R.	9,09	4,25±0,09	11,60±1,23	N.R.	N.R.	24,47	19,41
Promedio	0,60	1,10	5,27	6,39	5,90	7,55	3,14	5,04	14,44	0,26	1,34	14,79	24,08
σ	0,25	0,25	2,87	2,45	2,33	3,33	3,29	0,69	4,35	0,05	0,81	7,08	6,12

Notas: * Para el 2014 no existía esta captación. N.R.: valores no reportados. Los caudales que no cuentan con los valores de la desviación estándar corresponden a los aforos realizados por la ASADA.

Considerando los valores del Cuadro 4.1 de forma general se obtiene para el año 2014 un caudal total promedio captado de (14,79±7,08) L/s, con un valor mínimo de 3,40 L/s durante el mes de abril y un máximo de 24,47 L/s para diciembre, mientras que para el año 2015 aumenta el valor total promedio captado a (24,08±6,12) L/s, con un mínimo durante el mes de julio de 12,83 L/s, sin el registro de la captación Lobo N°2, ya que por problemas en la tubería no fue posible realizarlo, y un valor máximo de 36,92 L/s en el mes de setiembre. Se considera que los caudales disponibles a partir de la implementación de la nueva captación Lobo N°1, son mayores a los reportados, como se explicó, por causa del sitio y la forma como se realiza el aforo. Durante el 2014 el abastecimiento del acueducto dependió principalmente de fuentes de tipo superficial, siendo las captaciones con mayor caudal: Lobo N°1 (antigua), Lobo N°2 y Casa Blanca N°2, de igual forma para el 2015, reemplazando la captación Lobo N°1 nueva a la antigua.

A partir de la información de los caudales totales captados mensualmente durante los dos años registrados, se realizó un histograma de frecuencia relativa y acumulada (Figura 4.1), con el cual se puede establecer que para el 80% de las mediciones el caudal se reportó menor a los 25,75L/s y alrededor de un 40% de los meses presentaron un total de agua captada entre los 20,16 y 25,75 L/s.

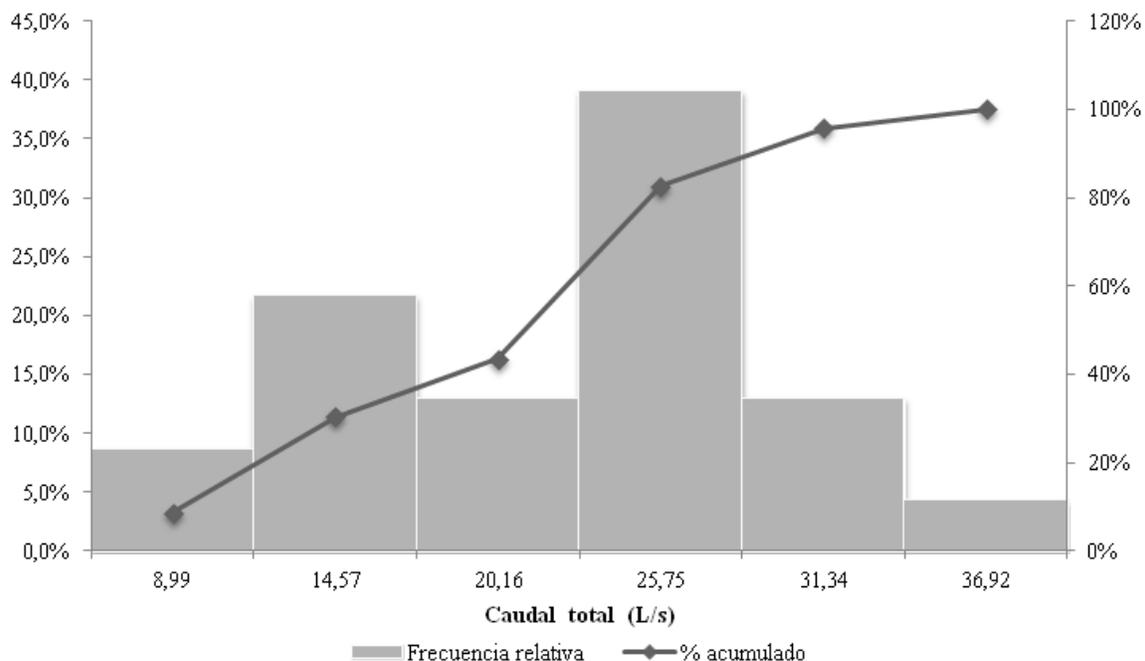


Figura 4.1. Histograma de frecuencia para los valores de caudal total captado mensualmente en las fuentes de abastecimiento del acueducto durante los años 2014 y 2015

Durante las visitas de campo para efectuar los aforos con la ayuda del fontanero se observó las dificultades que presentan, lo cual compromete la confiabilidad y utilidad de los valores reportados, y pone en riesgo la integridad de los fontaneros que deben efectuarlos. En el Cuadro 3.1 de la metodología se describieron los lugares donde se llevó a cabo los aforos, en el Cuadro 4.2 se describe la situación y riesgos que comprometen los valores obtenidos, que representan potenciales opciones de mejora para registrar la disponibilidad y variación del recurso hídrico durante el año, por otra parte en el Apéndice 3 se muestra un registro fotográfico con los sectores donde se realizan los aforos.

Cuadro 4.2. Descripción de los riesgos presentes al realizar los aforos en las captaciones empleadas por la ASADA

Captación	Riesgos
Casa Blanca N°1 (Naciente)	Con la remodelación de la estructura de captación se facilita actualmente el aforo en la tubería de lavado, sin embargo se debe estabilizar la superficie para colocar el recipiente y evitar caídas por la pendiente.
Casa Blanca N° 2	La necesidad de desconectar la tubería en una unión y de realizarlo en el cauce de la quebrada o bien en la orilla de la misma en una pendiente, dificulta la colocación del recipiente y la estabilidad de la persona que lo sujeta, teniendo riesgo de caídas.
Lobo N°1 (antigua)	Esta es la zona de mayor riesgo, ya que se debe desconectar la tubería en un punto antes del tanque reunión, localizado en la orilla de la quebrada en una zona alta y de pendiente, donde la colocación del recipiente para el aforo es muy difícil, se requiere de tres personas para realizar el aforo, una para sostener la tubería, otra para sujetar el recipiente y una tercera para tomar el tiempo, sin presentarse un lugar de soporte para las primeras dos.
Lobo N°2	El aforo se realiza en una pendiente dentro del cauce de la quebrada donde se ubica la captación y no hay soporte para la persona que sujeta el recipiente, lo cual dificulta la colocación y estabilidad del mismo.
LoboN°1 (nueva)	A pesar de ser una estructura nueva, con menos de un año de construida, no fue considerada la realización del aforo, por lo cual no se ubica un lugar apto para realizarlo, teniéndose como opción 1 dentro del tanque de reunión, sin embargo por el caudal, el espacio dentro del tanque y el tamaño del recipiente requerido, es inadecuado realizarlo ahí. Como opción 2 la tubería de lavado de la captación, no obstante es necesario colocar una válvula para detener el flujo hacia la tubería de conducción y poder aforar el caudal real, además de garantizar una superficie que de soporte la persona que sostiene el recipiente, al encontrarse el lavado en el cauce de la quebrada.
El Gringo (Naciente)	Debido a la situación actual de esta naciente el aforo se realiza en una pendiente cerca de un canal de agua y se desconecta la tubería que está sujeta con un hule. Es muy difícil mantener la estabilidad del recipiente para el aforo, sostener la tubería y que las personas que lo sujetan no caigan, además de requerir una persona más para tomar los tiempos.

Además de lo descrito en el Cuadro 4.2, en ninguno de los puntos de aforo se cuenta con válvulas, todos los sectores están ubicados en un lugar que no garantiza el soporte y seguridad de quien realiza el aforo, estando ubicados en pendientes y/o en el cauce de una quebrada y se requiere de un recipiente de mayor volumen para las captaciones de mayor caudal, con el fin de mejorar el proceso de aforo que facilite realizarlo con solo dos personas y obtener datos de mayor confiabilidad.

Atendiendo a las recomendaciones del IMN en cuanto al efecto del cambio climático en el sistema hídrico y de mantener un monitorio actualizado del recurso y su disponibilidad (MINAE & IMN, 2014) es que se recopiló información de precipitaciones y variaciones de temperatura mensuales para el periodo de 2010 a 2015, de acuerdo a los valores registrados por la estación termoplumiométrica del IMN, más cercana al sector en estudio. La estación se ubica en la provincia de Cartago, en el campus del TEC, a una distancia de aproximadamente 6,5 Km.

En la Figura 4.2 se muestra las variaciones en las precipitaciones en los últimos 5 años, se destaca el periodo con menos lluvias entre los meses de enero a abril, correspondiendo a la época seca y se presenta gran variabilidad en los meses lluviosos, con mayores precipitaciones durante el año 2010 y disminución en los años 2013 y 2014, sin poderse definir un comportamiento estable en cuanto al aumento y disminución de las lluvias. En el Anexo 3 se encuentra la información completa con las variaciones de temperatura para el mismo periodo.

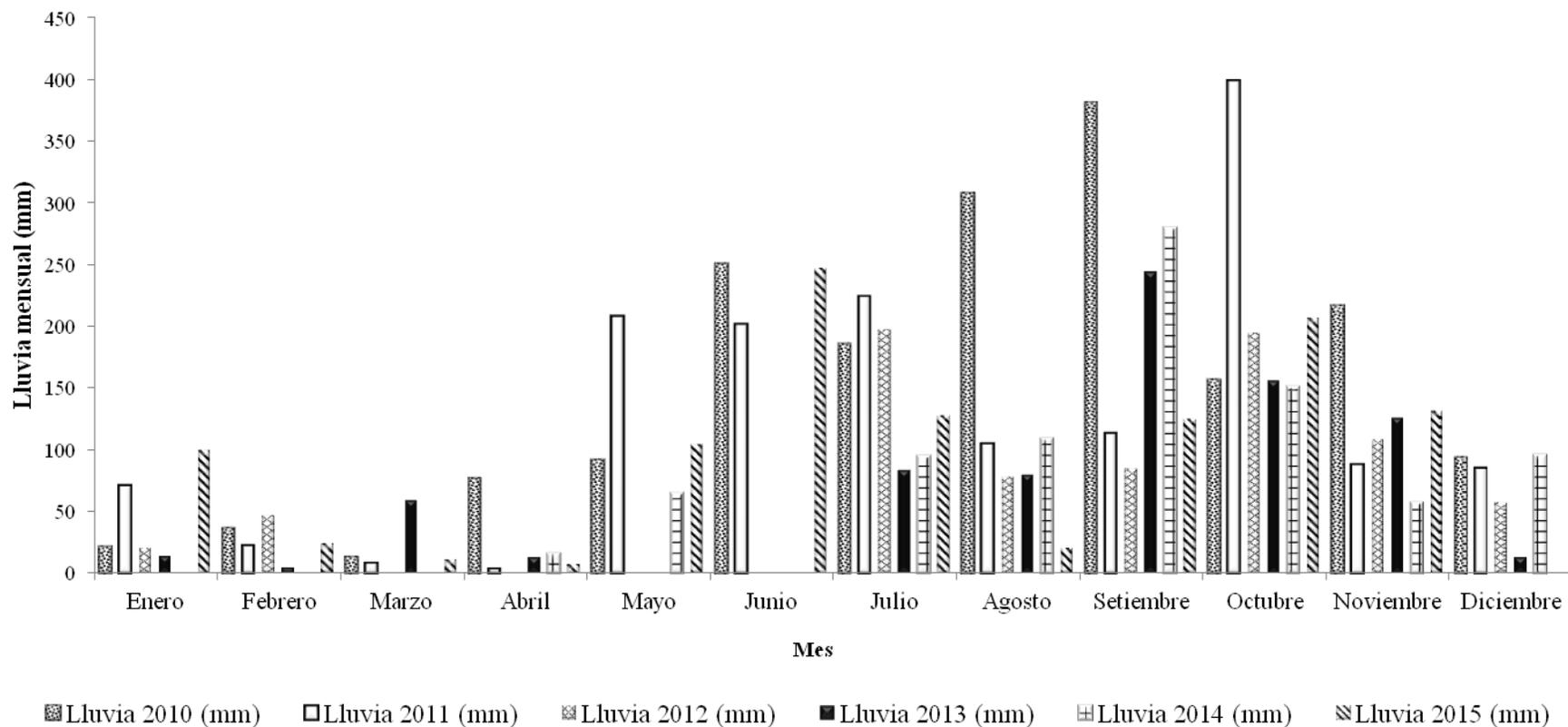


Figura 4.2. Variación de la lluvia mensual en la estación termopluviométrica del IMN ubicada en el TEC (Cartago)

En la Figura 4.3 se compara las variaciones en las precipitaciones en relación con los caudales totales captados para el periodo 2014-2015. Para la zona en estudio se debe tomar en cuenta que de acuerdo al informe *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica* (CRRH, 2008), en el análisis regional de la región climatológica Central, en el Valle Oriental se verá un mayor impacto del cambio climático a futuro en comparación con el Valle Occidental, tendiendo a subir la temperatura máxima entre 4 y 5 °C, y la temperatura mínima subiendo entre 2 y 4 °C, con disminución entre 16 y 23 % en las precipitaciones en todo la región para el final de siglo.

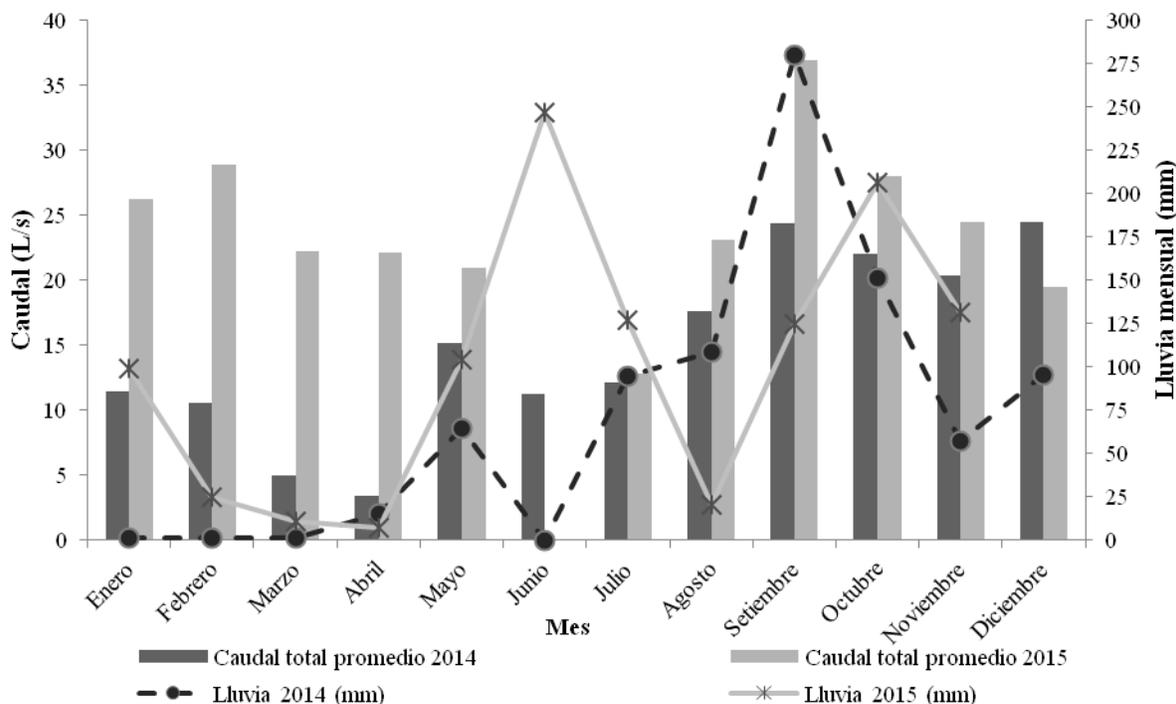


Figura 4.3. Variaciones del caudal total captado y precipitaciones mensuales para el periodo 2014 y 2015

Como se observa en la Figura 4.3, en el año 2014 los meses con menores precipitaciones son los meses de enero a abril (sin considerar el mes de junio para el cual no se reportó información de precipitación), los cuales corresponden a los meses con menor caudal disponible en las captaciones. Sin embargo, durante el año 2015 la situación varió, manteniéndose los meses más secos de febrero a abril y el mes de agosto, sin variaciones considerables en los caudales captados en los meses correspondientes.

A partir de los registros de caudales se destaca que el acueducto dispuso durante el año 2015 de un caudal total promedio captado de $(24,08 \pm 6,12)$ L/s, el cual representa un 39 % más si se compara con el año 2014, año en el cual se presentó disminución en las lluvias, dándose una marcada variación entre los reportes de aforos para cada uno de estos años. Lo anterior resalta la importancia de mantener una vigilancia continua en los cambios de los

caudales de las fuentes de abastecimiento empleadas, mejorar las condiciones en las que se realizan los aforos para tener mayor confianza en los valores reportados, y además registrar las variaciones de las precipitaciones y su efecto en el aumento o disminución de los caudales, ya que con la información disponible no es posible establecer una relación estrecha entre el aumento o disminución de las precipitaciones y las variaciones en los caudales aforados en las captaciones, razón por la cual se recalca la importancia de generar más información que permita monitorear los cambios en los caudales de las quebradas y las nacientes, aumentando la frecuencia con que se realiza el aforo a cada dos semanas y mantener un registro de las precipitaciones y eventos hidrometeorológicos que se presenten en el área de influencia del acueducto. Se considera que para el acueducto es posible registrar aforos cada dos semanas porque el fontanero realiza dentro de su plan de trabajo, inspecciones y limpieza en las captaciones cuatro veces a la semana.

Para facilitar el proceso de recolección y confiabilidad de los datos recuperados durante los aforos, se crearon fichas para cada uno de los meses (Apéndice 4), en las cuales la persona encargada registra toda la información necesaria para realizar el aforo y se mantiene en el archivo de la ASADA, además de un formato con el resumen de los valores reportados para cada mes (Apéndice 5) el cual se facilitó a la administración de la ASADA en formato Excel, con el objetivo de generar un respaldo digital con gráficos que faciliten observar e identificar la variación de caudales en las captaciones. Igualmente ante las necesidades expuestas por la administración se elaboró una guía para realizar los aforos y los pasos a seguir para reportar los valores de caudal (Apéndice 6).

4.2 CALIDAD DEL AGUA CAPTADA Y DISTRIBUIDA

La recopilación de los resultados de los análisis de laboratorio realizados por la ASADA y los análisis realizados por la investigadora permitió estudiar la variación de calidad del agua captada en las cuatro fuentes de abastecimiento, el tanque de reunión, el tanque estabilizador, la salida del filtro antes de la desinfección, en el tanque de almacenamiento donde se realiza la desinfección y en diferentes sectores en la red de distribución (ver esquema de Figura 3.2).

Los parámetros más representativos se comparan en el Cuadro 4.3, el cual incluye el registro de los análisis realizados por la ASADA y los muestreos efectuados por la investigadora durante el año 2015. Para los resultados de los análisis microbiológicos (coliformes totales y E. Coli) se presentaron los porcentajes de cada punto de muestreo que no cumplieron con la normativa y se reportó el valor máximo. Para las mediciones de pH, turbidez, conductividad, cloro residual y temperatura se mostró el promedio con la desviación estándar respectiva, y los rangos en los cuales se encontraban los valores. En el Apéndice 7, se encuentra el registro completo con los análisis para cada punto de muestreo.

Cuadro 4.3. Resultados generales obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en diferentes sectores del acueducto

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA							
Ubicación	Coliformes Totales (NMP/100mL)	E. Coli (NMP/100mL)	pH	Turbiedad (UNT)	Conductividad (μS/cm a 25°C)	Cloro Residual (ppm)	Temperatura (°C)
Casa Blanca N°1	80% muestras positivas Máx 198,9	50% muestras positivas Máx 79	\bar{X} : 6,48±0,60 Entre 5,57 y 7,80	\bar{X} : 1,49±1,78 Máx de 6,06 40% entre 1 y 1,80 50% < 1	\bar{X} : 53,59±9,60 Entre 42,50 y 70,00	N.R.	\bar{X} : 18,2±0,5 Entre 17,5 y 19,1
Casa Blanca N°2	88,8% muestras positivas Máx >2419,6	80% muestras positivas Máx 235,9	\bar{X} : 6,70±0,88 Entre 5,61 y 7,57	\bar{X} : 4,50±3,30 Máx de 10,27 40% entre 5,15 y 7,12 50% < 5	\bar{X} : 50,84±12,48 Entre 27,30 y 72,00	N.R.	\bar{X} : 17,4±0,7 Entre 16,6 y 18,5
Lobo	80% muestras positivas Máx >2419,6	80% muestras positivas Máx 344,1	\bar{X} : 6,81±0,42 Entre 6,01 y 7,41	\bar{X} : 6,86±6,32 Máx de 20,68 77,8% < 5	\bar{X} : 76,20±20,4 Entre 47,00 y 105,60	N.R.	\bar{X} : 17,5±0,5 Entre 17,0 y 18,6
El Gringo	100% muestras positivas	25% muestras positivas	\bar{X} : 5,19±0,30 Entre 4,82 y 5,56	\bar{X} : 2,07±2,31 Máx de 5,52 75% < 5	\bar{X} : 34,26±3,35 Entre 29,70 y 37,60	N.R.	\bar{X} : 19,3±0,6 Entre 18,8 y 20,0
Tanque reunión (mezcla)	100% muestras positivas Máx >2419,6	100% muestras positivas Máx 344,8	\bar{X} : 6,96±0,35 Entre 6,59 y 7,29	\bar{X} : 9,54±9,31 Máx de 23,42 50% > 5, 50% < 5	\bar{X} : 76,30±26,97 Entre 46,20 y 105,80	N.R.	\bar{X} : 18,1±1,0 Entre 17,2 y 19,4
Tanque estabilizador	100% muestras positivas Máx >2419	100% muestras positivas Máx 275,7	\bar{X} : 6,73±0,53 Entre 5,82 y 7,27	\bar{X} : 5,96±6,57 Máx de 23,13 33,3% > 5, 66,67% entre 3,02 y 4,46	\bar{X} : 71,99±21,45 Entre 39,30 y 93,20	N.R.	\bar{X} : 19,4±0,7 Entre 17,8 y 20,5
Salida Filtro	100% muestras positivas Máx >2419,6	100% muestras positivas Máx 290,9	\bar{X} : 6,55±0,65 Entre 5,60 y 7,22	\bar{X} : 6,81±7,25 Máx de 22,71 42,9% > 5, 57,1% entre 2,29 y 4,56	\bar{X} : 61,17±16,10 Entre 38,70 y 80,90	N.R.	\bar{X} : 19,6±1,2 Entre 17,8 y 21,4
Tanque de almacenamiento	70,6% muestras positivas Máx >2419	41,2% muestras positivas Máx 76,7	\bar{X} : 6,57±0,56 Entre 5,58 y 7,47	\bar{X} : 3,72±6,92 Máx de 29,80 64,7% entre 5,79 y 1,23 29,4% < 1	\bar{X} : 80,46±33,53 Entre 37,70 y 188	Máx 0,88 66,7% < 0,30	\bar{X} : 19,5±1,0 Entre 18,0 y 21,1
Red de distribución	32,4% muestras positivas Máx 1732,9	38,5% muestras positivas Máx 59,40	\bar{X} : 6,72±0,52 Entre 5,75 y 7,52	\bar{X} : 8,73±33,29 Máx de 174,93 37,9% < 1 20,7% > 5	\bar{X} : 79,73±29,02 Entre 38,00 y 187,00	Máx 1,03 63,2% < 0,30 15,8% > 0,60	\bar{X} : 21,2±1,2 Entre 19,0 y 23,9

Nota: N.R.: Valores No Reportados.

De acuerdo a los resultados de los análisis realizados en las 4 fuentes de abastecimiento, se encontró que todas presentaron presencia de coliformes totales y E. Coli. En el caso de las dos fuentes superficiales más de un 80% de las muestras con resultados positivos, con valores mayores a los 2419 NMP/100 ml en coliformes totales y resultados más elevados de E. Coli en la quebrada donde se ubican las captaciones Lobo, en comparación a los análisis hechos en Casa Blanca N°2. El 20% de las muestras con resultados negativos fueron los realizados por la ASADA en el año 2014. De las dos nacientes se obtuvo un porcentaje menor de muestras positivas con E. Coli, siendo el valor máximo en la naciente Casa Blanca N°1, con 79 NMP/100mL, se debe considerar que durante los muestreos la estructura de captación de esta naciente no presentaba buenas condiciones para la protección del agua.

Los parámetros de pH, conductividad y temperatura no presentan grandes variaciones entre las fuentes. Siendo el agua de la captación El Gringo la que reportó valores promedio menores de pH ($5,19 \pm 0,30$) y conductividad ($34,26 \pm 3,35 \mu.S/cm$). Las muestras de las captaciones Lobo reportaron los valores mayores de conductividad con un promedio de ($76,20 \pm 20,40$) $\mu.S/cm$, sin sobrepasar el valor alerta establecido en el reglamento N° 38924-S (2015) ($400 \mu.S/cm$).

Los valores de turbidez en las 4 fuentes no superaron las 21 UNT (Figura 4.5), como se observa en el histograma de frecuencia relativa (Figura 4.4), más del 50% de las muestras tomadas en las fuentes de abastecimiento presentaron valores de turbidez menores a 3,49 UNT y un 86% de las muestras tienen valores menores a 10,37 UNT.

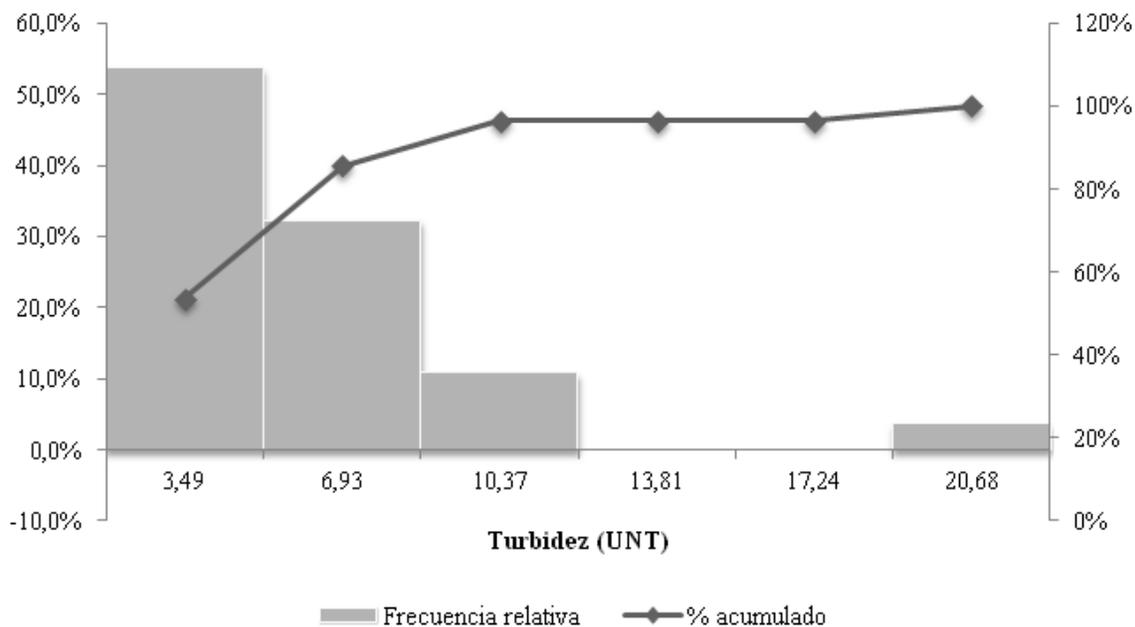


Figura 4.4. Histograma de frecuencia para los valores de turbidez obtenidos durante los muestreos realizados en las fuentes de abastecimiento del acueducto en el año 2015

En la Figura 4.4, la distribución de los datos indica la presencia de un cambio en las condiciones, lo cual generó el aumento de la turbidez en un pequeño porcentaje de las muestras. Precisamente, la muestra que se presentó dentro de un rango de turbidez más alto fue reportada en el punto de muestreo de las captaciones Lobo durante la época más lluviosa del año, no obstante en los muestreos de esta fuente, el 78% de los resultados reportados no superaron las 5 UNT, mientras que en la otra captación de tipo superficial el 50% de los análisis reportaron valores menores a 5 UNT. Como se muestra en la Figura 4.5 las nacientes presentaron menores valores de turbidez, el 50% de los resultados de Casa Blanca N°1 fueron valores menores a 1 UNT.

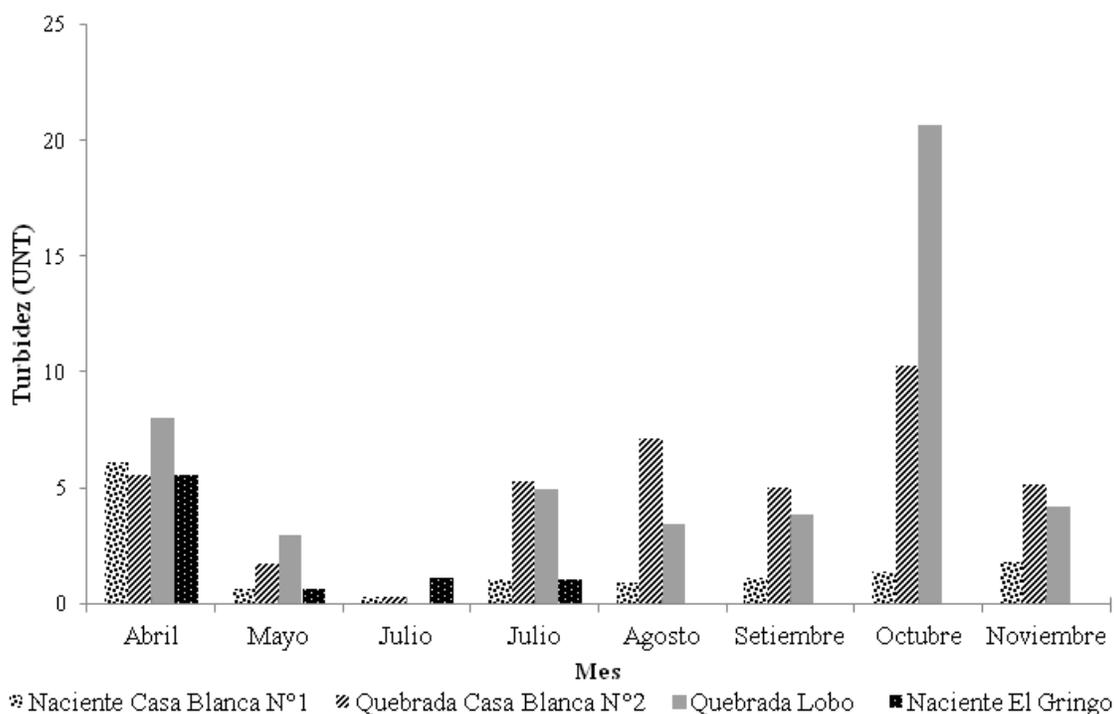


Figura 4.5. Valores de turbidez obtenidos durante los muestreos realizados en las fuentes de abastecimiento del acueducto en el año 2015

En las captaciones de agua superficial, los valores más altos en los parámetros microbiológicos y de turbidez fueron reportados cuando se registraron precipitaciones el día anterior al muestreo, sin embargo la naciente Casa Blanca N°1 durante este mismo periodo presentó turbidez baja. En la Figura 4.5 se observa que durante el mes de octubre se obtuvieron los valores de turbidez mayores en las fuentes superficiales, y es durante este mes donde se reportan mayores precipitaciones anuales, con respecto a los meses de muestreo (Figura 4.2).

De las muestras recolectadas en el tanque de reunión, las condiciones de calidad fueron similares a las descritas anteriormente para las aguas superficiales, encontrándose el total

de muestras positivas en coliformes totales y E. Coli, con un pH de aproximadamente 7, turbidez mayor a 5 UNT en el 50% de las muestras, con un valor máximo de 23,42 UNT (Cuadro 4.3).

A continuación se compara la calidad del agua en cuatro puntos de muestreo, el tanque estabilizador, el filtro, tanque de almacenamiento y red de distribución, esto con el fin de valorar si se presentan cambios en la calidad del agua desde el punto de entrada al sistema de tratamiento, salida del sistema y valorar la calidad del agua distribuida con muestras tomadas en tres lugares diferentes de la red, la información completa de los muestreos se encuentra en el Apéndice 7.

Cuadro 4.4. Comparación de parámetros de calidad en diferentes muestreos realizados en el sistema de tratamiento del acueducto durante el año 2015

Lugar de muestreo	Parámetro	Fecha de muestreo					
		11 agosto	26 agosto	07 setiembre	13 octubre	19 octubre	11 noviembre
Entrada tanque estabilizador	Turbidez (UNT)	3,02	2,25	2,25	23,13	6,25	3,43
	Coliformes fecales	Positivo	Positivo	Positivo	>2419,6	Positivo	>2419
	E. Coli	Positivo	Positivo	Positivo	275,7	Positivo	58,1
Salida filtro	Turbidez (UNT)	2,85	2,31	2,29	22,71	7,11	4,56
	Coliformes fecales	Positivo	Positivo	Positivo	>2419,6	Positivo	1986,3
	E. Coli	Positivo	Positivo	Positivo	290,9	Positivo	71,2
Tanque de almacenamiento	Turbidez (UNT)	2,38	2,38	1,86	29,80	5,79	4,64
	Coliformes fecales	Positivo	Positivo	Positivo	980,4	Positivo	>2419
	E. Coli	Negativo	Negativo	Negativo	76,7	Positivo	55,6
Red de distribución		2,77		1,52		6,97	4,22
	Turbidez (UNT)	3,44	N.R.	1,06	N.R.	5,86	6,92
		2,66		1,01		6,54	5,25
		Negativo		Negativo		Positivo	1299,7
	Coliformes fecales	Negativo	N.R.	Negativo	N.R.	Positivo	1413,6
		Negativo		Negativo		Positivo	1732,9
		Negativo		Negativo		Positivo	50,40
	E. Coli	Negativo	N.R.	Negativo	N.R.	Positivo	54,50
		Negativo		Negativo		Positivo	59,40
	Cloro Residual (ppm)	0,97		0,38		0,29	0,14
	0,94	N.R.	0,34	N.R.	0,08	0,00	
	1,03		0,36		0,02	0,12	

La calidad del agua no mejoró desde el punto de vista microbiológico si se compara la entrada al tanque estabilizador y la salida del filtro (Cuadro 4.3), como se muestra en el Cuadro 4.4, los resultados se mantuvieron positivos después de la filtración y aumentó el valor de E. Coli a la salida del filtro. En cuanto a la comparación de la turbidez antes del filtro y a la salida de este, los valores se mantienen constantes, con ligeras disminuciones y en dos muestreos con un aumento de alrededor de 1 UNT.

En los muestreos realizados en el tanque de almacenamiento se obtuvo un alto porcentaje de muestras que no cumplen con lo establecido en el reglamento (N° 38924-S, 2015) para los parámetros microbiológicos, turbidez y cloro residual (Cuadro 4.3). Al comparar la calidad del agua a la salida del filtro y luego de ser clorada en el tanque de almacenamiento en el Cuadro 4.4, se determinó una mejora en la calidad del agua al obtener resultados negativos o valores menores para la presencia de E. Coli, con disminución en la turbidez, a excepción del muestreo del 11 de noviembre del año 2015, donde la calidad del agua empeoró en el tanque de almacenamiento, lo cual causó la distribución de agua de calidad no potable a la población. De igual forma, de la totalidad de análisis registrados se detectó un 38,5% de muestras no potables en la red de distribución, con un 63% de muestras que no alcanzaron concentraciones de cloro residual mayores a 0,30 ppm (Cuadro 4.3). En cuanto al deterioro de la calidad del agua y a la deficiencia en la desinfección se observó que para las muestras tomadas el 19 de octubre y 11 de noviembre de 2015 el sistema de cloración no estaba funcionando correctamente, ya que el fontanero no tenía acceso a las pastillas almacenadas en la bodega, esto porque solo durante el horario de atención de oficina es cuando la administradora se encuentra y se puede acceder a las pastillas para dar mantenimiento al clorador.

Desde el punto de vista microbiológico y valorando los valores de turbidez, las fuentes que presentan mejor calidad son las nacientes, siendo la naciente El Gringo la que reportó un pH más ácido y menor conductividad. La calidad de estas puede aumentar en gran medida si se realizan mejoras en las estructuras de captación. En cuanto a las captaciones de agua superficial, son las aguas de la captación Casa Blanca N°2 las que presentaron menores niveles de contaminación microbiológica y menores valores de turbidez en comparación a Lobo. Estos resultados se deben considerar para priorizar las medidas de mejora en las captaciones, como lo hizo la ASADA al reconstruir la estructura de captación de la naciente Casa Blanca N°1 y con la nueva cámara de captación con rejillas en la quebrada donde se ubica la nueva captación Lobo N°1. Para el mantenimiento y mejoras de la calidad del agua disponible es importante optimizar la protección y seguridad en las zonas donde se capta el agua, además de mantener un mayor control en el área de protección de las fuentes.

Como se registró con los análisis realizados, el sistema de tratamiento del acueducto no garantiza la potabilización del agua, ya que la calidad del agua proveniente de las captaciones no mejora al pasar por el proceso de filtración y con la desinfección realizada no se garantiza la potabilización del agua distribuida. Además que no se realiza un monitoreo continuo de la calidad de agua que va a ser clorada, con parámetros como turbidez y color, con lo que se puede incurrir en un proceso de desinfección que genere subproductos tóxicos (SPD), ya que el cloro además de eliminar los microorganismos patógenos reacciona con la materia orgánica que contiene el agua cruda que no fue tratada en el filtro, lo que podría generar compuestos orgánicos sintéticos como los trihalometanos

(THM) que causan efectos nocivos para la salud de la población (Rodríguez, Rodríguez, Serodes, & Sadiq, 2007), en el Anexo 4 se enlistan algunos efectos que generan los SPD.

Atendiendo a las modificaciones presentadas en el nuevo reglamento para la calidad del agua potable N° 38924-S, publicado el 1° de setiembre de 2015 en el Diario Oficial La Gaceta, se creó un resumen (Apéndice 8) de los tipos de análisis, niveles y frecuencia que debe realizar la ASADA para cumplir con lo establecido en esta normativa.

4.3 DEMANDA ACTUAL DE AGUA POTABLE

De acuerdo a la información de consumo recopilada (Apéndice 9), la cual es generada por el acueducto por medio de la lectura mensual de los micromedidores, se obtuvo un consumo promedio de $(5,1 \pm 0,3)$ L/s durante el año 2014, mientras que para el año 2015 fue de $(5,2 \pm 0,3)$ L/s. Como se observa en la Figura 4.6, durante el periodo en estudio no se presentó una variación significativa en el consumo de agua potable y se dio un aumento de cinco abonados al finalizar el año 2015. Con respecto a los abonados durante el segundo semestre del 2014, del total de 562 un 88% correspondió a tipo domiciliario y un 12% a abonados de tipo empresarial, institucional y comercial, representando el consumo de estos últimos el 13% del consumo total en esos seis meses. Mientras que para el cierre del año 2015 se reportó un total de 567 abonados, de los cuales el tipo domiciliario representó un 87%, correspondiendo el restante 13% a empresas y comercios. Para el mismo año el consumo total de las empresas y comercios representó un 16% del total anual reportado.

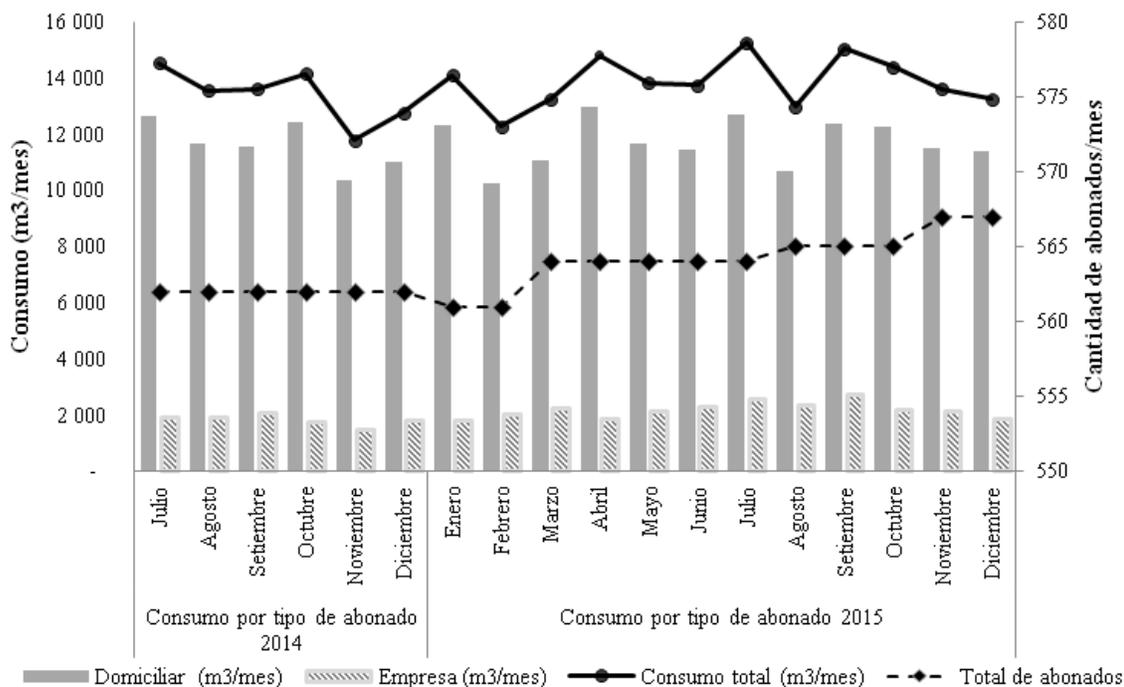


Figura 4.6. Consumo mensual de agua potable de acuerdo al tipo de abonado para el acueducto de San Isidro durante el periodo de julio 2014 a diciembre 2015.

Con los valores reportados en el Apéndice 9, se calculó el consumo promedio mensual y total de acuerdo al tipo de abonado, además del consumo *per cápita* mensual y diario, como se explicó en la metodología se asumió una población de 4,4 habitantes por vivienda, considerando una vivienda por abonado. Estos resultados se muestran en el Cuadro 4.5, a partir de los cuales se obtiene que la población de la comunidad de San Isidro, presentó un consumo promedio de $(180 \pm 13,2)$ L/persona*día, con un consumo máximo de 202L/persona*día durante el mes de setiembre de 2015 y un mínimo de 153 L/persona*día en el mes de octubre del año 2014. Los valores anteriores se encuentran dentro del rango establecido por el ICAA para dotaciones de poblaciones rurales, de (150-250)L/persona*día, y por debajo de la dotación de (250–300) L/persona*día para población urbana (ICAA, 2001).

Cuadro 4.5. Consumo promedio registrado para los abonados del acueducto de San Isidro, en el periodo de julio 2014 a diciembre de 2015

Mes	Consumo promedio (m ³ /abonado*mes)			Consumo per cápita	
	Domiciliar	Empresarial	Total	(m ³ /persona*mes)	(L/persona*día)
Julio-14	26	28	26	5,9	189
Agosto-14	24	28	24	5,5	177
Setiembre-14	23	30	24	5,5	183
Octubre-14	25	25	21	4,8	153
Noviembre-14	21	21	21	4,8	159
Diciembre-14	22	26	23	5,2	166
Enero-15	25	26	25	5,7	184
Febrero-15	21	29	22	5,0	178
Marzo-15	22	31	23	5,3	172
Abril-15	26	26	26	6,0	199
Mayo-15	24	30	24	5,6	179
Junio-15	23	32	24	5,5	185
Julio-15	26	36	27	6,1	198
Agosto-15	22	32	23	5,2	168
Setiembre-15	25	37	27	6,1	202
Octubre-15	25	30	25	5,8	187
Noviembre-15	23	29	24	5,4	182
Diciembre-15	23	26	23	5,3	171
Promedio	24	29	24	5,5	180
σ	1,6	3,9	1,8	0,4	13,2

Es importante considerar que el acueducto no cuenta con macromedición en ningún punto, lo cual no permite identificar si se dan pérdidas (conexiones ilegales, fugas, errores en las lecturas, mal funcionamiento de los micromedidores) entre la salida del tanque de almacenamiento y el total de agua facturada a los abonados. A pesar de esto fue posible realizar un aforo a la entrada del tanque de almacenamiento, el día 6 de agosto de 2015 (Apéndice 10), durante el lavado del tanque, con el objetivo de conocer el caudal de entrada al sistema. Debido al caudal y espacio en el tanque estabilizador no fue posible realizarlo en la entrada, igualmente no hubo alternativa de aforar a la entrada o salida del filtro, por lo que se optó por el tanque de almacenamiento, además de mantenerse el mismo diámetro de

tubería a la entrada del tanque estabilizador y tanque de almacenamiento, sin tuberías de rebose entre estos dos. Se obtuvo un caudal de $(15,46 \pm 0,63)$ L/s, con una tubería llena a la entrada de los dos tanques como se observa en las fotografías en el Apéndice 10.

Considerando los resultados obtenidos en el apartado 4.1, se tiene para el acueducto de San Isidro una oferta promedio de agua captada entre los $(14,79 \pm 7,08)$ L/s para el año 2014 y $(24,08 \pm 6,12)$ L/s para el 2015, siendo la demanda promedio por consumo de $(5,1 \pm 0,3)$ L/s durante el 2014 y de $(5,2 \pm 0,3)$ L/s en el 2015, con un consumo *per cápita* promedio de $(180 \pm 13,2)$ L/persona*día. Por lo tanto el acueducto dispuso de un excedente de agua en las captaciones de entre el 65% y 78% para el abastecimiento. Por otra parte si se considera un caudal de aproximadamente 15,5 L/s a la entrada del sistema de tratamiento se mantiene un excedente de 10 L/s, el cual se puede perder en el rebose del tanque de almacenamiento o bien por fugas o conexiones ilícitas en la red de distribución.

Las pérdidas de agua en el sistema de acueducto se pueden clasificar en dos tipos, pérdidas técnicas en el sistema de acueducto y pérdidas comerciales en la red de distribución. Las pérdidas técnicas se subdividen en visibles y en no visibles, e incluyen las fugas en las tuberías, accesorios y estructuras (rebose de tanques, sistema de tratamiento). Las pérdidas comerciales tienen relación al funcionamiento técnico y comercial del prestador del servicio, lo cual incluye las conexiones ilícitas, abonados fuera de la base de datos, micromedición con errores (lectura errónea o mal funcionamiento del micromedidor). Para realizar un control de estas pérdidas se puede calcular el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), que es empleado como un indicador para valorar el nivel de pérdidas y con lo cual se llegue a implementar un programa de reducción de pérdidas (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010). Para realizar lo anterior se reitera la necesidad de realizar y registrar aforos, así como de realizar macromedición en la entrada del sistema de tratamiento y en la salida del agua a la población.

4.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA FUTURA DE AGUA POTABLE

4.4.1 Proyección poblacional

A partir de la información demográfica brindada por el INEC para el sector abastecido por la ASADA de San Isidro de El Guarco, se obtuvo el Cuadro 4.6 con las tasas de crecimiento poblacional de acuerdo a los diferentes métodos.

Cuadro 4.6. Tasa de crecimiento poblacional para la población de la comunidad de San Isidro de El Guarco

Censo	Población	Tasa de crecimiento (%) por el método:				Promedio
		Lineal o aritmético	Geométrico	Geométrico simplificada (Bocaz)	Logarítmico	
1973	581	-	-	-	-	-
1984	1098	8,1%	6,0%	5,6%	5,8%	6,4%
2000	1361	1,5%	1,4%	1,3%	1,3%	1,4%
2011	2149	5,3%	4,2%	4,1%	4,2%	4,4%

Elaborado a partir de información del INEC.

Aplicando los métodos matemáticos de proyección descritos en el Anexo 6, para un periodo de 20 años a partir del 2015 se obtuvo la proyección de población y las tasas de crecimiento que se observan en el Cuadro 4.7, para los años 2015, 2020, 2025, 2030 y 2035, mientras que en el Apéndice 11 se encuentra el resultado para el periodo completo de 2015 a 2035. La tasa de crecimiento anual para el método aritmético refleja una disminución porcentual en el crecimiento anual de la población, en cada uno de los años proyectados, mientras que con los otros dos métodos se mantiene una tasa constante de crecimiento del 4,2%, valor similar a la tasa de crecimiento promedio calculada con los censos. Considerando lo anterior se calculó el promedio de la población proyectada con los métodos geométrico y logarítmico para obtener la población a proyectar para un período de 20 años.

Cuadro 4.7. Proyección poblacional para la población de la comunidad de San Isidro en el periodo de 2015 a 2035

Método de proyección	Tasa de crecimiento anual (%)	Año				
		2015	2020	2025	2030	2035
Lineal o aritmético	r (%):	2436	2794	3152	3510	3868
Geométrico	4,2	-	2,9	2,6	2,3	2,0
Logarítmico	4,2	2537	3123	3843	4730	5822
	Promedio	3978	4896	6026	7416	9128
	Promedio	3258	4009	4935	6073	7475

Elaborado a partir de información del INEC.

En la Figura 4.7 se presenta la representación gráfica de las proyecciones, donde se puede apreciar las variaciones en el crecimiento para cada uno de los métodos de proyección, se graficó el promedio de las proyecciones empleando los valores del método geométrico y logarítmico, se observa que el promedio es el más adecuado para realizar la proyección, por lo que se empleará como referencia y para los cálculos de caudales siguientes.

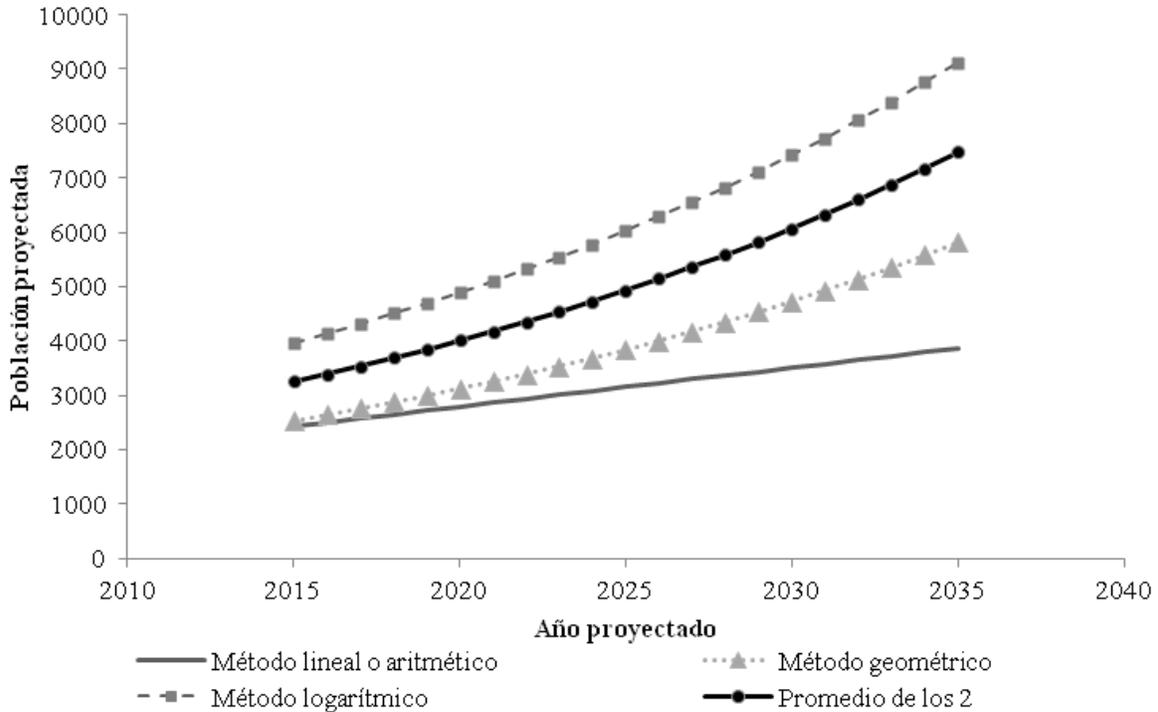


Figura 4.7. Proyección de crecimiento poblacional para la comunidad de San Isidro

4.4.2 Cálculo del consumo futuro

Para realizar el cálculo del consumo futuro de la población proyectada se requiere el valor de la dotación neta, la cual se obtuvo en el apartado 4.3. con un valor de $(180 \pm 13,2)$ L/p*d, a partir del cual se asumió una dotación neta de 190 L/p*d para la comunidad de San Isidro.

- Dotación bruta

Con el valor de dotación neta se calculó la dotación bruta asumiendo un porcentaje de pérdidas del 20% y el crecimiento poblacional promedio para el diseño. Además se realizó el cálculo con pérdidas del 0%, 12,5% y el valor máximo de 25%, considerando la recomendación del ICAA y el IFAM (2010), de reducir los valores de ANC a niveles del 25%. Obteniéndose una dotación bruta de 190, 217, 238 y 253 L/p*d para pérdidas del 0%, 12,5%, 20% y 25% respectivamente.

Considerando lo anterior se realizó el cálculo del caudal medio diario (Qmd), caudal máximo diario (QMD) y caudal máximo horario (QMH), comparando los 4 porcentajes de pérdidas para la población proyectada con los métodos geométrico, logarítmico y promedio en los años 2030 y 2035, esto con el fin de evaluar la variación de los caudales requeridos en los diferentes escenarios.

- Caudal medio diario (Qmd), para el diseño se plantea utilizar el valor de 16,69 L/s, que corresponde a pérdidas del 20% para la proyección de población promedio

(Cuadro 4.8), se requeriría de 3,85 L/p*d más para abastecer a la población en el 2035 si se mantiene el porcentaje de pérdidas, además con una dotación bruta de 253L/p*d se incrementa el Qmd requerido en un 6%.

Cuadro 4.8. Proyección del caudal medio diario en diferentes escenarios para la comunidad de San Isidro

Población	Qmd (L/s), 2030				Qmd (L/s), 2035			
	190	217	238	253	190	217	238	253
Promedio	13,36	15,26	16,69	17,81	16,44	18,79	20,55	21,92
Geométrico	10,40	11,89	13,00	13,87	12,80	14,63	16,00	17,07
Logarítmico	16,31	18,64	20,39	21,75	20,07	22,94	25,09	26,76

- Caudal máximo diario (QMD): como se observa en el Cuadro 4.9 si se utiliza un Qmd de 16,69 L/s se obtiene un QMD de 20,03 L/s en la proyección para el año 2030, requiriéndose de 4,6 L/s más para suplir este caudal en el año 2035. En este caso si se da una disminución en las pérdidas se puede reducir en un 8,5% el caudal necesario o hasta en un 20% si no se consideran pérdidas.

Cuadro 4.9. Proyección del caudal máximo diario en diferentes escenarios para la comunidad de San Isidro

Población	QMD (L/s), 2030				QMD (L/s), 2035			
	190	217	238	253	190	217	238	253
Promedio	16,03	18,32	20,03	21,37	19,72	22,54	24,66	26,30
Geométrico	12,48	14,27	15,60	16,64	15,36	17,56	19,20	20,48
Logarítmico	19,57	22,37	24,46	26,09	24,09	27,53	30,11	32,12

- Caudal máximo horario (QMH): para un Qmd de 16,69 L/s se obtuvo un QMH de 28,38 L/s (Cuadro 4.10), el cual tendría un aumento en 6,55 L/s en el año 2035. De igual forma si se reducen las pérdidas a un 0% sería necesario un 20% menos de agua para cubrir el QMH.

Cuadro 4.10. Proyección del caudal máximo horario en diferentes escenarios para la comunidad de San Isidro

Población	QMH (L/s), 2030				QMH (L/s), 2035			
	190	217	238	253	190	217	238	253
Promedio	22,70	25,95	28,38	30,27	27,94	31,94	34,93	37,26
Geométrico	17,68	20,21	22,10	23,58	21,76	24,87	27,21	29,02
Logarítmico	27,73	31,69	34,66	36,97	34,12	39,00	42,65	45,50

- Para el caudal de diseño de una planta de tratamiento se considera el valor obtenido como Caudal Máximo Diario, el cual corresponde a 20,03 L/s para el año 2030 de acuerdo a la proyección de población promedio, una dotación de 190 L/p*d y un 20% en pérdidas (Cuadro 4.9) . Si se valora las otras dos proyecciones de población, el caudal de diseño puede aumentar o disminuir 5 L/s.

El acueducto de San Isidro cuenta con suficiente caudal captado en sus fuentes de abastecimiento para las cubrir las necesidades de caudal promedio diario para el año 2030 y 2035 si se consideran los caudales promedio captados durante el 2015 con el crecimiento poblacional promedio y manteniendo un porcentaje de pérdidas del 20%, no obstante si se valora el caudal promedio captado durante el año 2014, este no sería suficiente para cubrir las necesidades de la población en las mismas condiciones. Como se explicó en el apartado 4.1, las variaciones en la oferta del recurso hídrico no son fácilmente predecibles y es indispensable mantener un registro y vigilancia continua de las variaciones, además de mejorar la protección en las fuentes y considerar fuentes alternativas para el abastecimiento.

4.5 DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL ACUEDUCTO

4.5.1 Fuentes de abastecimiento

4.5.1.1 Lobo N°1 (antigua)

Corresponde a una captación de agua superficial cuya estructura es un muro de concreto que detiene el flujo de agua de la quebrada, donde se ubica un tubo de PVC con ranuras y recubierto con un cedazo fino para evitar la entrada del material más grueso y captar el agua en la parte baja del embalse (Figura 4.8). Se localiza en las coordenadas geográficas: Latitud 9,808251, Longitud -83,957001 con una altitud de 1598,18 msnm. La captación está en propiedad privada y se ubica en la parte más alta con relación a las otras dos captaciones Lobo; a partir de la implementación de la captación Lobo N°1 (nueva) se dejó de emplear, no obstante el fontanero mantiene vigilancia y se desvía el caudal captado a la quebrada. La identificación de riesgos SERSA dio como resultado un riesgo Alto con 7 factores de riesgo (Apéndice 12, Cuadro A.12. 1).



Estructura de captación



Entrada del agua

Figura 4.8. Estructura de captación Lobo N°1 (antigua)

Los principales factores de riesgo identificados son como consecuencia de la ubicación de la estructura, ya que se encuentra fuera de un área protegida o de conservación, no tiene

malla perimetral para evitar el acceso de personas y animales, y está cerca de viviendas. Por otra parte el estado de la captación y cómo se realiza representa un riesgo, pues no cuenta con rejillas en la toma, el bloqueo de la entrada al tubo es frecuente por efecto de ramas, hojas, piedras y animales y por último no hay desarenador después de la toma. Actualmente la limpieza de la estructura no tiene una frecuencia regular porque no está en uso y tampoco se afora, además el lugar donde se realizaba el aforo es muy peligroso.

4.5.1.2 Lobo N°2

Al igual que la anterior es una fuente de agua superficial y la captación se realiza con un muro de concreto que se ubica perpendicular al flujo de la quebrada, donde se colocó un tubo de PVC que permite la captación del agua en la parte baja del embalse. A diferencia de la toma Lobo N°1 (antigua), el tubo no tiene protección y para evitar el bloqueo de la superficie con material como ramas, piedras y animales, el fontanero coloca una malla que sujeta con piedras en la parte superior, como se observa en la Figura 4.9. Esta toma se ubica aguas abajo de la captación Lobo N°1 (antigua), en la misma propiedad privada, con las coordenadas geográficas: Latitud 9,808252 y Longitud -83,957015 y a una altitud aproximada de 1611,61 msnm. El diagnóstico SERSA de esta estructura reportó un riesgo Alto con 7 factores de riesgo identificados (Apéndice 12, Cuadro A.12. 2).



Toma



Limpieza y aforo

Figura 4.9. Estructura de captación Lobo N°2

Los riesgos identificados en esta captación fueron los mismos que para la toma Lobo N°1 (antigua), por efecto de la ubicación fuera de un área protegida, sin una malla o cerca perimetral que evite el acceso de personas y animales, y la cercanía con viviendas que podrían afectar la calidad del agua captada, además de la ausencia del desarenador después de la toma. El fontanero realiza el lavado de la captación semanalmente y aumenta la frecuencia cuando es necesario, sin embargo, es difícil mantener el lugar sin elementos que obstruyan el flujo debido al tipo de toma. El aforo es realizado en el mismo lugar desconectando la tubería.

4.5.1.3 Lobo N°1 (nueva)

Esta captación de agua superficial se ubica aguas abajo de Lobo N°2, la toma fue construida en el año 2015 y consta de una presa de concreto, perpendicular al flujo de la quebrada con rejillas por las cuales se da la captación del agua. Como se observa en la Figura 4.10 la estructura se encuentra en buen estado y mejora las condiciones de captación. Se localiza en la coordenadas geográficas: Latitud 9,808407, Longitud -83,956933 y a una altitud 1609,09 de msnm. La evaluación de riesgo resultó con la identificación de 5 factores de riesgo y un riesgo Alto (Apéndice 12, Cuadro A.12. 3).



Toma



Limpieza

Figura 4.10. Estructura de captación Lobo N°1 (nueva)

Esta estructura de captación cuenta con mejores condiciones en comparación a las otras 3 captaciones de agua superficial del acueducto, el riesgo identificado se mantiene como Alto y esto es por causa de la ubicación de la toma. Esta captación está situada en la misma propiedad que las dos tomas mencionadas anteriormente, por lo cual se mantienen los riesgos al estar fuera de un área protegida, sin cerca o malla de protección en el perímetro que evite la entrada de personas y animales y la cercanía de viviendas. No obstante la cantidad de indicadores de riesgo varía de 7 en las captaciones Lobo aguas arriba a un valor de 5. Manteniéndose la ausencia de un desarenador para todas las captaciones.

La limpieza de la estructura es efectuada por el fontanero cada semana y durante época lluviosa la frecuencia es mayor de acuerdo a lo que se necesite. En la Figura 4.10 se muestra la limpieza de las rejillas, además el fontanero colocó un cedazo fino sobre estas, con lo cual evita el paso de hojas, ramas pequeñas y animales. Estos esfuerzos se pierden si se considera que al tanque de reunión llega el agua de las otras captaciones de agua superficial que tienen un paso libre para contaminantes sólidos de mayor tamaño. Aunque la captación es nueva, la ASADA no contempló la realización de aforos y no se encuentra un lugar adecuado para realizarlos.

4.5.1.4 Casa Blanca N°2

La estructura de captación de esta toma de agua superficial es similar a Lobo N°1 (antigua) y Lobo N°2. Está constituida por un muro de concreto perpendicular al flujo de la quebrada, el cual retiene el agua para luego captarla por una tubería de PVC. En el interior de la captación se ubica un filtro de piedra, sujeto con una malla que está recubierta por un sarán fino, con el cual se busca evitar la entrada de material de gran diámetro. En el interior del lecho de piedra se ubica la entrada de la tubería de captación, sin embargo cuando la tubería se obstruyó, el fontanero tomó la decisión de perforarla después de la salida del filtro para permitir la entrada del agua. Durante las visitas de campo se observó que el agujero en la tubería de conducción era cubierto con una bolsa plástica y luego con un trozo de sarán. La captación y el filtro se muestran en Figura 4.11.



Figura 4.11. Estructura de captación Casa Blanca N°2

Con respecto a las coordenadas geográficas, la captación se ubica en la Latitud 9,80683 y Longitud -83,953691, a una altitud de 1620,90 msnm. La evaluación de riesgo del SERSA indicó un riesgo Alto con 7 factores de riesgo positivos (Apéndice 12, Cuadro A.12. 4). Los principales elementos identificados tienen relación con la ubicación y protección de la captación, ya que está fuera de un área de protección y no tiene cerca perimetral. El acceso a la propiedad es fácil, los dueños de viviendas cercanas entran y colocan conexiones ilícitas en diferentes sectores, tanto aguas arriba como abajo de la captación. Además es un factor de riesgo importante el tipo de captación que no cuenta con una estructura con rejillas y desarenador después de la captación. En este lugar no se ha colocado rotulación para identificar la fuente. La limpieza es realizada por el fontanero semanalmente o de ser necesario con mayor frecuencia cuando se presentan fuertes lluvias y aumenta el arrastre de materiales por la quebrada.

4.5.1.5 Casa Blanca N°1

La captación es para agua de naciente, la estructura es de concreto, enterrada y fue reconstruida durante el mes de octubre del año 2015. Se ubica en las coordenadas geográficas: Latitud 9,807184 y Longitud -83,953412 con una altitud de 1616,87 msnm. De

acuerdo a la evaluación de riesgo SERSA esta captación presenta un riesgo Bajo, donde los dos factores de riesgo identificados son la ausencia de cerca de protección y canales para el desvío de aguas de escorrentía producto de las lluvias (Apéndice 12, Cuadro A.12. 5).

La captación está en propiedad privada, muy cerca de Casa Blanca N°2, y no tiene malla de protección a su alrededor para evitar la entrada de personas y animales, en la entrada a la propiedad hay una cerca de alambre de púas que puede ser abierta con facilidad. Durante las visitas de campo se observó personas y perros con fácil acceso en los alrededores. La ASADA colocó un rótulo de prohibición de la contaminación en la propiedad, sin embargo no cuenta con un rótulo para la identificación de la fuente. Como se observa en la Figura 4.12 la captación exhibe muy buenas condiciones, la tapa es sanitaria y tiene un candado para el cierre, se facilita el proceso de limpieza (semanal), permite la realización de los aforos en la tubería de lavado y cuenta con tubería para la ventilación.



Estructura de captación



Estructura de captación



Interior captación



Caja de registro



Interior caja de registro



Respiradero

Figura 4.12. Estructura de captación de la naciente Casa Blanca N°1

Además de la estructura de captación cuenta con una caja de registro (Figura 4.12), donde se ubica la tubería de lavado y se observa la entrada de un flujo de agua que fue captada aguas abajo de la captación principal. Al abrir la tubería de lavado todo el flujo se desvía por esta, sin embargo no se dispone de una válvula para cerrar el flujo hacia la conducción. A partir de la caja de registro la tubería de PVC de conducción se une aguas abajo con la tubería de conducción de la captación de agua superficial Casa Blanca N°2 donde las aguas se mezclan para llegar al tanque de reunión.

Anteriormente la captación presentaba muy malas condiciones, la estructura no servía de protección, tenía múltiples grietas, las tapas estaban hechas de trozos de vidrio y se

mantenía con sedimentos y raíces en el interior. Cuando se realizó la primera visita el riesgo SERSA identificado fue Alto con un valor de 6.

4.5.1.6 *El Gringo*

Esta naciente se ubica dentro de propiedad privada y se mantiene actualmente en proceso legal entre la ASADA y el dueño de la propiedad, razón por la cual no se concretó la visita de campo correspondiente. Debido a lo anterior se realizó la identificación de riesgos con información de una evaluación de la estructura realizada por ICEA Consultores en el año 2015 a solicitud de la ASADA, cuyo reporte se encontró en el archivo.

El agua captada de la naciente se dirige a un tanque plástico de 1500 L, sin tapa, el cual se ubica en las coordenadas geográficas: Latitud 9,80903, Longitud -83,9581, a una altitud de 1632,41 msnm. En este tanque hay una maraña de tubería dirigida al abastecimiento de las casas del dueño de la propiedad y en la parte más alta del tanque, como rebose se encuentra la tubería del acueducto, teniendo caudal disponible únicamente cuando el agua es suficiente para abastecer las otras casas y llenar el tanque.

Se identificó un nivel de riesgo muy alto con 8 factores positivos (Apéndice 12, Cuadro A.12. 6). Los riesgos se deben a la manipulación que se da en la captación, ya que no se da una conducción directa desde la captación de la naciente. El sector no tiene malla en el perímetro, la tapa es de vidrio, con presencia de sedimentos y una lata en el interior de la captación, no hay tubería para hacer aforos y se carece de canales de esorrentía. En este lugar se ubican viviendas y se da fácil acceso de animales y personas que manipulan el sistema.

4.5.2 Línea de conducción

4.5.2.1 *Tanque de reunión*

En este tanque se mezclan las aguas provenientes de todas las fuentes de abastecimiento, se localiza aguas abajo de la captación Lobo N°1 (nueva), dentro de la misma propiedad privada, con las coordenadas geográficas: Latitud 9,80862, Longitud -83,95678, y a una altitud de 1604,93 msnm. El tanque es semienterrado de concreto, está dividido en dos cámaras y cuenta con dos tapas sanitarias (Figura 4.13). En la primera cámara entra el agua proveniente de las captaciones Lobo, la cual se comunica con la segunda cámara, donde entra el agua de las captaciones Casa Blanca y El Gringo.

Durante las visitas realizadas se observó un rebose constante (Figura 4.13) y la reducción en el mismo al desconectar el agua proveniente de Casa Blanca N°2, esta medida fue tomada por la ASADA porque la capacidad del tanque y tubería de rebose no era suficiente,

causando que rebosara por las tapas, lo que generó molestias en los dueños de la propiedad y estancamiento de agua en los alrededores.

El fontanero mantiene el exterior del tanque limpio semanalmente y cada mes realiza la limpieza en el interior para extraer sedimentos, piedras, hojas, materia orgánica en descomposición, entre otros. No es posible aforar la salida del tanque ya que la tubería está enterrada. La medición del caudal en este sector es importante para conocer cuánto realmente se lleva por la tubería de conducción y comparar este caudal con el que entra en el sistema de tratamiento, lo que permitiría determinar pérdidas en la tubería de conducción por fugas o conexiones ilícitas en el recorrido.



Figura 4.13. Tanque de reunión

Los formularios SERSA no establecen una ficha para la evaluación de los tanques de reunión, por lo cual se empleó la ficha de campo 4 para la evaluación de tanque de almacenamiento, omitiendo el indicador de cloración para realizar la valoración de este tanque. Se obtuvo un nivel de riesgo Alto con 6 indicadores positivos (Apéndice 12, Cuadro A.12. 7).

En los factores de riesgo influye la presencia de fugas en las conexiones y falta de protección en el rebose que también funciona como respiradero, ya que el agua se puede contaminar. También afecta la ausencia del borde de un metro alrededor del tanque, la presencia de sedimentos en el interior y la falta de una cerca de protección para evitar la entrada de personas o animales que puedan afectar la estructura.

4.5.2.2 Tanque quiebra gradiente N°1

Se ubica después del tanque de reunión a una distancia lineal aproximada de 250 metros, le corresponde las coordenadas geográficas: Latitud 9,810037 y Longitud -83,954982, con una elevación de 1575,28 msnm. Como se observa en la Figura 4.14, la estructura es semienterrada de concreto y está deteriorada, se observó humedad y grietas en las paredes laterales. La tapa tenía cierre sanitario y con candado, sin embargo la tubería de rebalse-respiradero no tiene rejillas o un cedazo para evitar la entrada de algún contaminante. El

SERSA no contempla la evaluación individual de estas estructuras, la identificación de riesgo se hizo en la ficha 5: Línea de conducción y sistema de distribución.

De acuerdo a la información de los fontaneros y la administradora del acueducto, el rebose en este tanque es constante y se han dado actos de vandalismo, en los cuales retiran los candados para comercializar el metal, quedando el acceso libre al interior del tanque.



Tanque



Rebose

Figura 4.14. Tanque quiebra gradiente N°1

El fontanero efectúa la limpieza de la estructura una vez a la semana, los días miércoles cuando realiza el recorrido por la línea de conducción hasta la planta de tratamiento.

4.5.2.3 Tanque quiebra gradiente N°2

La estructura es muy similar al primer tanque quiebra gradiente, se ubica después de este a una distancia lineal aproximada de 340 metros y a 590 metros del tanque de reunión. La localización de acuerdo a las coordenadas geográficas es: Latitud 9,812436 y Longitud -83,953046, a una altura de msnm 1542,60. Como se muestra en la Figura 4.15, el tanque es de concreto y está semienterrado.



Tanque



Rebose

Figura 4.15. Tanque quiebra gradiente N°2

Este tanque también presenta deterioro en las paredes laterales, no tiene rejilla de protección en la salida de la tubería de rebose-respiradero, de acuerdo al fontanero el rebose es constante y se han presentados actos de vandalismo, se roban el candado y el tanque queda con fácil acceso al interior. La frecuencia de limpieza es igual al tanque quiebra gradiente anterior.

4.5.2.4 Línea de conducción y red de distribución

Se realizó el recorrido de la tubería de conducción el 25 de mayo y 01° de junio de 2015. De acuerdo al estudio técnico disponible en la ASADA que incluyó el levantamiento topográfico, la tubería de conducción tiene una longitud de 4 508,40 m y la red de distribución de 5 424,38 m, para un total de 9 932,78 m (F. Sánchez, 2012), la tubería es de PVC en toda la longitud.

Durante el recorrido y de acuerdo a los fontaneros, no se identificaron fugas en las tuberías de conducción, estas se dan esporádicamente por efecto de las condiciones del tiempo, movimiento de tierra, paso de vehículos pesados, entre otros. Las correcciones se realizan de forma inmediata por lo general cuando la población da la alerta. La ASADA no registra la cantidad de fugas o reportes de estas en la conducción o red de distribución.

Con respecto a la línea de conducción, después de la salida en el tanque de reunión, la tubería atraviesa una quebrada y cruza la carretera Interamericana pasando por un túnel (Figura 4.16) y a partir de ahí recorre varias propiedades privadas hasta llegar a la zona de Guatuso de El Guarco, en el recorrido se encuentran los dos tanque quiebra gradiente. En el sector de la quebrada por donde pasa la tubería de conducción a las afueras de la propiedad donde se encuentran las captaciones Lobo y el tanque de reunión, se presenta recurrente acumulación de residuos sólidos, la tubería es soportada en el aire por un cable y está cubierta de musgo, la tubería descubierta está sin protección en el sector de “Los Vega” y al llegar al puente en la comunidad de Guatuso.



Cruce de la quebrada



Soporte aéreo de la tubería junto a otras mangueras



Cruce en el túnel

Figura 4.16. Línea de conducción

Con respecto a la evaluación de riesgo del SERSA, para la línea de conducción y red de distribución se obtuvo un riesgo Intermedio con 3 indicadores de riesgo (Apéndice 12, Cuadro A.12. 9), los cuales se deben al estado de los tanques quiebra gradiente y por la variación en las concentraciones de cloro residual en la red de distribución, que por diversas razones no siempre cumplen con el mínimo de 0,30 ppm.

4.5.3 Sistema de Tratamiento

El sistema de tratamiento que actualmente emplea el acueducto fue diseñado en el año 1995 para la Asociación de Desarrollo Integral y Comité Administrador del acueducto de San Isidro del Guarco. El diseño sanitario fue realizado por el Ing. Elías Rosales y el diseño estructural estuvo a cargo del Ing. Hugo Navarro, de acuerdo a la información presente en el plano. A partir de lo cual se calcula que las estructuras tienen 20 años de antigüedad y han cumplido su vida útil. La estructura de tratamiento se muestra en la Figura 4.17, la desinfección se aplica en el interior del tanque de almacenamiento y el equipo se ubica en la estructura techada junto al tanque.

Todas las estructuras se encuentran rodeadas por una malla perimetral para evitar la entrada de animales y personas. A pesar de la malla, se han dado actos de vandalismo para robar las válvulas de los filtros, lo que ocasionó la discontinuidad en el abastecimiento y grandes riesgos para la salud de la población. En los alrededores se da actividad agrícola y ganadera, y es posible observar restos de botellas de vidrio y plásticas, latas de aluminio y basura tanto al interior de la malla como en las afueras, según el fontanero esto se da porque se reúnen grupos de personas en el sector más alto y aunque en la oficina de la ASADA se mantiene vigilancia 24 horas con alarma y cámaras de video, en este sector no hay mayor seguridad, ni la presencia de un operario fijo, el mantenimiento lo da el fontanero en su horario de trabajo.



Vista de frente del tanque de almacenamiento, tanque estabilizador y filtro atrás.

Vista de frente del tanque estabilizador y el filtro

Figura 4.17. Sistema de tratamiento del acueducto de San Isidro de El Guarco

125 cm, una primera capa de 30 cm de altura con piedra de segunda (50 mm Ø), luego una capa de 30 cm con piedra de cuarta (25 mm Ø), seguido de una capa de 75 cm con piedra de quintilla (9,5 mm Ø) y una última capa de 75 cm de altura con arena gruesa (2 a 6 mm Ø) y un nivel estático de agua de 10 cm. Según las mediciones realizadas al interior del filtro se obtuvo un largo 3,75 m, un ancho de 1,28 m y la altura de 3 m, la medida de la altura fue suministrada por el fontanero, que realizó la medición cuando realizaron la limpieza del lecho del filtro. A partir de los valores medidos se obtiene un volumen interno de 14,4 m³, en comparación a 12,48 m³ del diseño. La velocidad de filtración no se obtuvo en campo y en los registros disponibles en la ASADA no se encontró información de la velocidad de diseño establecida originalmente para el sistema de filtración.

En la Figura 4.19 se observa que las paredes del filtro tienen grietas, además que las tapas no son de cierre sanitario, por lo que el agua de lluvia con otros contaminantes puede penetrar al interior del filtro. De acuerdo a información de la administración de la ASADA, el lecho del filtro no fue cambiado desde su colocación inicial hasta el año 2015, cuando fue removido y lavado, en la Figura 4.19 se muestra el agua en la superficie del filtro antes de un lavado y el filtro al ser vaciado con un notable desgaste en el lecho superior de arena.



Tapa del filtro



Lateral del filtro con grietas



Capa superior del lecho



Agua sobrenadante antes de la limpieza

Figura 4.19. Filtro grueso de flujo ascendente

De acuerdo a las muestras de agua tomadas antes de entrar al filtro y a la salida de este (apartado 4.2), se puede establecer que el funcionamiento del filtro no es el adecuado, a partir de las características de las aguas superficiales y la ausencia de un desarenador, el lecho del filtro se colmata rápidamente y no se permite el proceso de filtración apropiado.

4.5.3.3 *Tanque de almacenamiento*

El tanque de almacenamiento se localiza en las coordenadas geográficas: Latitud 9,829517 y Longitud -83,957952, a una altura de 1436,21msnm. Al tanque entra el agua del filtro por el costado oeste, mientras que la disolución de cloro ingresa en el centro del tanque donde se ubica la tapa de registro. Se determinó el volumen del tanque a partir de mediciones de las dimensiones en el interior, se obtuvo un volumen total de 149 m³, con una capacidad de almacenamiento de 139 m³. Se realizaron mediciones en cada uno de los laterales del tanque y se obtuvo una altura de 2,30 m en todas las paredes, largo de 9,10 m y un ancho de 7,10 m, valores que no variaron en los laterales, la altura del tubo de salida a la comunidad está a 0,10 m sobre la superficie del tanque, la altura del tubo de entrada del agua al tanque es de 2,15 m sobre la base del tanque y la tubería de rebose a 2,30 m sobre la base del tanque. Sin embargo el diseño inicial del tanque de almacenamiento consideraba un volumen de 360 m³. A partir del volumen medido y el caudal de 15,5 L/s en la entrada, se tiene un tiempo de retención de 2 h y 30 min.

De acuerdo a la evaluación de riesgo SERSA este tanque presenta un riesgo Intermedio, con 4 indicadores positivos (Apéndice 12, Cuadro A.12. 8), entre los que se encuentran la presencia de grietas y fugas en las paredes, ausencia del borde de cemento, desarrollo de actividad agrícola y ganadera en los alrededores y la presencia de sedimentos en el interior, lo cual se debe a las deficiencias en el proceso de filtración. En la Figura 4.20 se muestra el tanque en su parte superior donde la tubería de respiradero tiene un sarán que evita la entrada de animales, también se observa el proceso de limpieza, que es realizado el primer jueves de cada mes; para el proceso se espera a que la población consuma el agua almacenada y se procede a barrer los lodos acumulados. Como consecuencia del paso de partículas de mayor tamaño y para evitar que estas continúen a la red de distribución, el fontanero coloca un cedazo fino en el trozo de tubo de PVC por donde sale el agua con dirección a la distribución. El tubo tiene agujeros cubiertos con el cedazo que es sujetado con gasas, consecuencia de la cantidad de sedimentos acumulados en el fondo, la arena satura y cubre el cedazo, acumulándose entre la superficie del tubo y este.



Figura 4.20. Tanque de almacenamiento

4.5.3.4 Desinfección

La desinfección se realiza tomando agua cruda antes de la entrada al tanque estabilizador para ser llevada a la unidad de desinfección. El proceso se realiza al pasar un flujo de agua cruda por las pastillas de cloro que se disuelven por efecto de la erosión, generando la disolución a aplicar en el tanque de almacenamiento. En el proceso se desconoce el caudal de agua a ser clorada, el caudal de entrada al clorador y el caudal y concentración de la disolución aplicada.

Para mantener los valores de cloro residual se realiza a prueba y error, aumentando o disminuyendo el caudal de la disolución de cloro a incorporar. En el proceso realizado no se garantiza una mezcla homogénea de la disolución de cloro con el agua, ya que no se incorpora la disolución a la entrada del agua en el tanque de almacenamiento.

El clorador está compuesto por una serie de tubos de PVC de diferente diámetro y las pastillas de cloro se colocan dentro de un tubo de PVC con agujeros, como se muestra en la Figura 4.21. Las pastillas son almacenadas en la bodega ubicada en la oficina de la ASADA y el fontanero no tiene acceso continuo a esta, sino que se limita al horario de oficina, por lo cual no siempre puede mantener el clorador con suficientes pastillas, además conserva el equipo de protección para la manipulación de las pastillas en la misma bodega, razón por la cual no lo utiliza.



Clorador



Contenedor de las pastillas

Figura 4.21. Clorador

Para evaluar la efectividad del método de cloración empleado se registró los reportes de cloro residual disponibles en el archivo de la ASADA para el periodo de julio del año 2013 a diciembre de 2015. El registro completo se encuentra en el Apéndice 13, mientras que en la Figura 4.22 se presenta la variación de las concentraciones de cloro residual a lo largo del periodo, tomando como referencia el valor alerta de 0,3 ppm y 0,6 ppm de cloro residual establecido en el reglamento N° 38924-S (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015). Se debe considerar que los valores de cloro residual sobrepasan en muchas mediciones el límite establecido lo cual es peligroso si se toma en cuenta que no se garantiza la calidad

del agua que está siendo clorada, por otra parte se dan mediciones con concentraciones menores al valor recomendado o incluso con 0 ppm de cloro residual, lo cual evidencia las deficiencias del proceso de desinfección.

Antes del mes de julio de 2015, se presenciaron problemas con las mediciones de cloro residual, ya que el fontanero no registraba correctamente la lectura de las concentraciones y por algún tiempo se consideró que se garantizaba el cloro residual en red cuando no se estaba detectando concentraciones mayores a 0,1 mg/L. A partir de la situación anterior y en el proceso de cambio de fontanero, la ASADA cambió el clorador y contrató un técnico que da seguimiento al proceso, se mantiene el método de prueba y error, pero los reportes no sobrepasan el límite máximo, manteniéndose en el rango adecuado. Como se explicó antes, las concentraciones tienden a disminuir cuando el fontanero no tiene forma de rellenar con pastillas el clorador y debe esperar para tener acceso a la bodega, o bien durante los fines de semana, cuando no hay una persona a cargo de la vigilancia del sistema. Si durante el fin de semana se agotan las pastillas, el agua no es clorada hasta el lunes cuando el fontanero inicia su jornada y debe esperar a que la oficina abra a la 1:00 pm para tener acceso a la bodega.

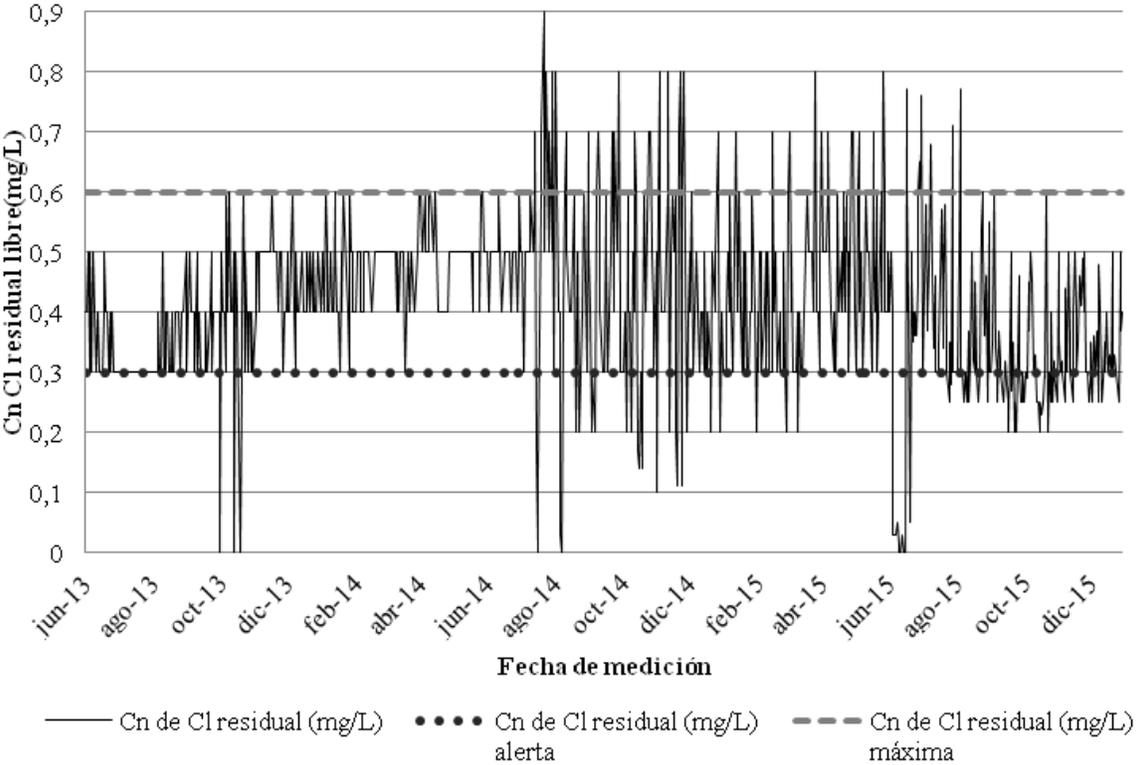


Figura 4.22. Variación de la concentración de cloro residual

4.5.3.5 Resumen de riesgos identificados

En el Cuadro 4.11 se resume los riesgos identificados en cada uno de los componentes del acueducto evaluados, se destaca la gran cantidad de estructuras con riesgo alto, con un valor de 5 de un total de 9, además de una captación con riesgo muy alto y el tanque de almacenamiento con riesgo intermedio. A partir de esta información la ASADA puede priorizar las medidas de mejora que requiere implementar y como sucedió con la nueva estructura de captación Casa Blanca N°1, se reduce considerablemente el nivel riesgo, variando de factores de riesgo entre los 5 y 7 a riesgo bajo con un máximo de dos indicadores.

Cuadro 4.11. Resumen de los riesgos identificados en las estructuras con las guías de inspección sanitaria del SERSA

Estructura	Riesgo SERSA identificado	Total de factores de riesgo
Lobo N°1 (antigua)	Alto	7
Lobo N°2	Alto	7
Lobo N°1 (nueva)	Alto	5
Casa Blanca N°2	Alto	7
Casa Blanca N°1	Bajo	2
El Gringo	Muy Alto	8
Tanque de reunión	Alto	6
Línea de conducción y red de distribución	Intermedio	3
Tanque de almacenamiento	Intermedio	4

Por otra parte se creó un mapa con la ubicación de cada uno de los componentes evaluados y georreferenciados en el cual se muestra cada estructura con el color que indica el tipo de riesgo y las áreas de protección que deben tener a su alrededor de acuerdo a lo establecido en La Ley de Aguas N°276 (1942), con 200 m de radio en captaciones de nacientes permanentes y la Ley Forestal (1996), en el caso de los márgenes de ríos y quebradas, una franja de 15 m medidos horizontalmente a cada lado de la rivera en zonas rurales y 10 m en zonas urbanas.

Con la información disponible en el Atlas Digital de Costa Rica (Tecnológico de Costa Rica, 2014) y los puntos georreferenciados se verificó si los sectores donde se localiza el acueducto presentan otro tipo de riesgo, los cuales se describen en el

Cuadro 4.12. La zona se clasifica con una baja probabilidad de inundaciones, sin embargo se debe considerar los eventos ocurridos durante los últimos años, donde la población ya tiene identificadas zonas de riesgo de inundación, como lo ocurrido en octubre del año 2015, cuando por efecto de las altas precipitaciones, la quebrada que atraviesa la comunidad por el costado sur en dirección este-oeste se desbordó, causando problemas en la infraestructura vial, inundación de viviendas y en redes del acueducto.

Cuadro 4.12. Otros factores de riesgo identificados en el acueducto

Tipo de factor	Descripción	Efecto en el acueducto
Probabilidad de riesgo a inundación.	Áreas con riesgos de inundación, según niveles de precipitación, hidrología y elevación del terreno	Baja probabilidad de inundaciones.
Capacidad de uso de la tierra	Según Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras en Costa Rica	Cultivos permanentes.
Erupciones	Áreas que podrían ser afectadas por erupciones según la CNE	Fuera del área de afectación
Riesgo de incendios forestales	Áreas que podrían ser afectadas por incendios forestales	Riesgo medio
Zonas óptimas para reforestación en Costa Rica	Identificación de las zonas óptimas para reforestar con las siete especies más utilizadas en el país, de acuerdo al perfil ecológico de las especies (teca, melina, chanco blanco, pilón, jaúl, ciprés, y roble coral)	Las fuentes de abastecimiento se localizan en la zona de vida: bosque húmedo premontano y se identifica el ciprés como especie para reforestar.

Elaborado a partir del Atlas Digital de Costa Rica (Tecnológico de Costa Rica, 2014)

En la Figura 4.23 se muestra el perímetro de protección para las dos nacientes, en el caso de la naciente El Gringo cubre las cercanías de la carretera Interamericana y varios sectores ocupados por viviendas en la parte alta de la captación, mientras que para la naciente Casa Blanca N°1, la protección involucra el área sobre la carretera y el terreno frente de la propiedad donde se localiza la captación, en el cual se ubica una vivienda. En el caso del sector correspondiente a la comunidad y los ríos identificados, se observa el irrespeto a los 10 – 15 m de protección a cada margen de las quebradas y ríos.

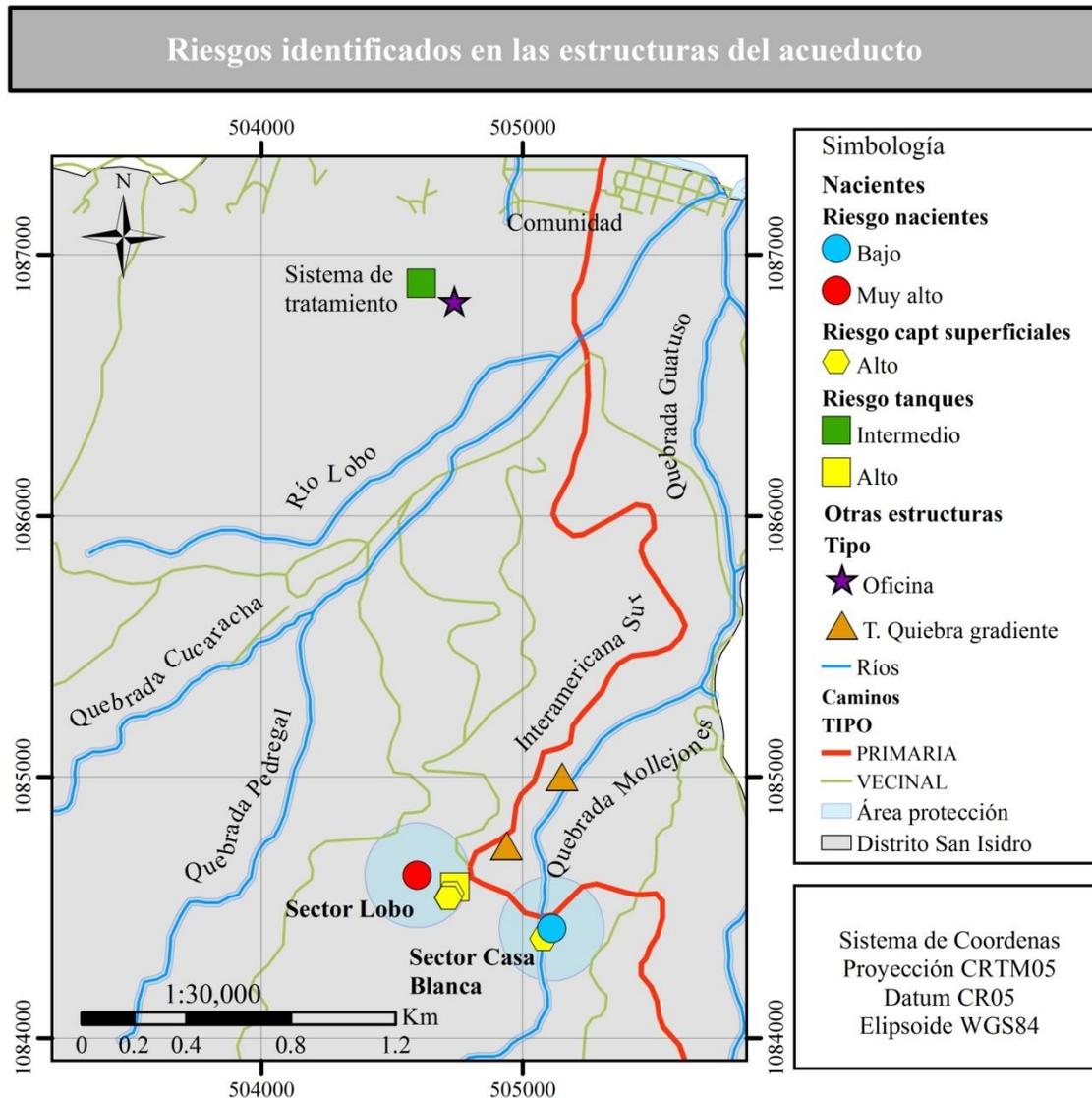


Figura 4.23. Identificación de los riesgos SERSA en los componentes del acueducto

Para facilitar el uso del mapa a la administración y junta directiva se registró la información georreferenciada en tres formatos digitales diferentes, uno en formato KML (Keyhole Markup Language, por sus siglas en inglés), el cual permite el acceso al archivo por medio del programa informático Google Earth, de acceso gratuito, con el que se puede visualizar información cartográfica con base a fotografías satelitales. En este formato se puede observar claramente las zonas de protección correspondientes y la fotografía satelital permite identificar la cobertura. También se brindó la información por medio de la aplicación Google My Maps, que facilita la creación de mapas personalizados con fotografías satelitales que pueden ser compartidos y publicados online, por medio de este formato se puede administrar la información y compartirla con la comunidad. La información también se facilitó en formato ESRI shapefile (SHP), que es un formato

estándar para el intercambio de información geográfica entre los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

4.6 MEDIDAS DE MEJORA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL ACUEDUCTO

De acuerdo a la evaluación realizada en el apartado anterior se plantean las siguientes medidas de mejora para cada uno de los componentes del acueducto:

4.6.1 Fuentes de abastecimiento

4.6.1.1 Lobo N°1 (antigua)

Aun cuando la estructura no está siendo empleada, se debe considerar entre el plan de mejoras la protección alrededor de la captación para evitar la entrada de animales o de personas ajenas al acueducto. Por otra parte si dentro de los planes de la ASADA está el mantenimiento de esta estructura como alternativa futura, se debe reconstruir la captación considerando una toma con rejillas debidamente diseñada, un lugar para hacer el aforo, la cerca perimetral y rotulación. Al mismo tiempo coordinar con los dueños de la propiedad la protección aguas arriba y evitar que se contamine.

4.6.1.2 Lobo N°2

En esta captación es necesario reconstruir la toma para eliminar la malla la cual es fijada con piedras y evitar la entrada de todo tipo de material por el tubo de la captación, que luego es transportado por la tubería de conducción. Se debe construir una toma con rejillas de acuerdo al caudal de la quebrada y establecer un lugar para hacer el aforo de lo captado, contemplando la colocación de válvulas. Además considerando la cercanía de viviendas y que muchas personas tienen acceso a la propiedad, es importante la colocación de una cerca perimetral para evitar el acceso de las personas y animales a la toma. En este lugar también es necesario ubicar un rótulo con la identificación de la fuente.

4.6.1.3 Lobo N°1 (nueva)

La cercanía de viviendas y el acceso de cualquier persona o animales a la zona de captación hace necesario colocar una malla en el perímetro y mantener control en los alrededores para evitar la contaminación. Con lo anterior se disminuirían 3 de los factores de riesgo identificados y se obtendría un nivel de riesgo bajo. Además se recomienda realizar el aforo justo después de la captación, colocando una “tee” y una válvula para desviar el flujo.

Si se consideran modificaciones en la estructura de captación, es importante modificar la inclinación de la rejilla, de forma que esté inclinada entre un 10 % y 20% en dirección del

flujo, lo que permite la remoción de los sólidos sobre la rejilla por acción del agua que pasa sobre la rejilla.

4.6.1.4 Casa Blanca N°2

Para reducir la captación de sólidos como piedras, hojas y ramas, es necesario reconstruir la captación y considerar una toma con rejillas debidamente acondicionada con un lugar previsto para aforar. Además es preciso colocar una cerca en el perímetro de la captación o en la entrada a la propiedad, con lo cual se evite la libre entrada de personas y animales, lo que permitiría controlar las conexiones ilícitas. Al igual que las otras fuentes se requiere de un rótulo para identificarla y un desarenador después de la captación.

4.6.1.5 Casa Blanca N°1

Es necesaria la corrección de los factores de riesgo identificados, lo cual requiere mejorar la seguridad alrededor de la captación y colocar la cerca perimetral, hacer los canales para el agua de escorrentía producto de las lluvias, con lo que se evitan las aguas estancadas. Además para mejorar el proceso de aforo es necesario estabilizar el lugar donde se coloca el recipiente y donde se apoya la persona que lo realiza. Al igual que en las otras fuentes se recomienda colocar un rótulo con el nombre de la captación.

4.6.1.6 El Gringo

Para implementar mejoras en esta estructura se debe resolver el proceso legal entre la ASADA y el dueño de la propiedad, incluyendo la concesión del agua de la naciente y garantizar el abastecimiento de las personas que habitan la propiedad. La captación requiere de una tapa sanitaria, canales de escorrentía y respiraderos y tubería para el rebose con protección. Eliminar las conexiones y condiciones en el tanque de almacenamiento plástico. Además de mejorar la protección en los alrededores con una cerca perimetral y evitar la entrada de personas y animales.

4.6.2 Línea de conducción

4.6.2.1 Tanque de reunión

Con respecto al tanque se deben corregir las fugas en las conexiones de las tuberías que provienen de las fuentes de abastecimiento, dándoles un mayor soporte, además de colocar una rejilla o cedazo en la tubería de rebose, con lo que se impida la entrada de animales u otros contaminantes al interior. Alrededor del tanque se debe colocar una cerca o malla para impedir la entrada de animales o personas no autorizadas y colocar el borde de cemento de un metro.

Se considera que en este sector se puede construir un desarenador que funcione como pretratamiento, tomando en cuenta que el abastecimiento del acueducto se da principalmente de fuentes superficiales y que estas por lo general tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión, que aumenta en temporada de lluvias. El objetivo de esta unidad es extraer la grava, arena y partículas minerales más o menos finas del agua cruda para evitar el transporte de estas por la tubería de conducción y el acumulamiento de sedimentos, de forma que protege la tubería de conducción, el sistema de tratamiento y en el caso de contar con bombas se resguardan de la abrasión. Con el desarenado se remueven las partículas superiores a los 0,2 mm (OPS, 2005).

El tanque de reunión puede ser empleado como un estabilizador del flujo antes del desarenador, además de mantenerse como el lugar donde se mezclan todas las fuentes de abastecimiento, sin embargo es necesario colocar la tubería de entrada del sector Casa Blanca en la primera cámara del tanque, lo mismo la entrada de la captación El Gringo, con lo cual se obtiene una mezcla en la primera cámara y retención de sólidos, luego el flujo pasa a la segunda cámara de donde se dirige a la zona de entrada del desarenador.

Se planteó el desarenador para un período de diseño de 15 años, en el cual se requeriría un QMD de 20,03 L/s (Apartado 4.4). De esta forma se propone dos unidades en paralelo con las dimensiones de 0,7 m de ancho, 4,9 m de largo y una altura de 0,70 m (incluye 0,20 m de borde libre). Con una velocidad de escurrimiento horizontal (V_h) es de 0,030 m/s y la velocidad de arrastre de partículas (V_a) es de 0,328 m/s, siendo $V_a > V_h$ y no se da resuspensión de las partículas, además de cumplirse la relación de proporcionalidades ($L/H = V_h/V_{sc}$). En el Apéndice 20 se muestra las dimensiones planteadas para el desarenador.

Se recomienda además mantener la malla perimetral para evitar la entrada al desarenador y tanque de reunión, conjuntamente de mantenimiento y limpieza de las estructuras.

4.6.2.2 Tanque quiebra gradiente N°1 y Tanque quiebra gradiente N°2

Ambas estructuras presentan características similares, por lo cual se presentan las opciones de mejora para las dos.

Para mejorar la seguridad y evitar los actos de vandalismo, los tanques necesitan de una cerca en su perímetro y coordinación con la policía local y vecinos para controlar estos eventos. Las dos estructuras requieren mantenimiento para corregir las fugas y mejorar la cobertura de pintura, además de un borde de cemento alrededor.

4.6.2.3 Línea de conducción y red de distribución

Las fugas en la línea de conducción y red de distribución se deben corregir a la mayor brevedad, ya que se corre el riesgo de contaminar el agua y con más razón si las

concentraciones de cloro residual no se mantienen en toda la red de distribución. Aun cuando las fugas no se consideren de “importancia” se deben reparar para evitar la contaminación, desperdicio de agua potable y recursos económicos y el estancamiento de aguas en la vía pública.

Para la detección de fugas en la comunidad, contar con sistemas de macromedición a la salida del tanque de almacenamiento es de gran ayuda, como se explicó anteriormente, así como implementar un plan de reducción de pérdidas que involucre la participación de los usuarios y el registro de las fugas reportadas y corregidas. En el caso de la tubería de conducción se podría contabilizar el caudal a la salida del tanque de reunión y a la entrada del sistema de tratamiento.

4.6.3 Sistema de Tratamiento

4.6.3.1 Tanque estabilizador

Como medidas a corto plazo se considera mejorar el recubrimiento al interior del tanque y mantener el buen estado del exterior, además de un borde de cemento alrededor. Con la implementación de un desarenador se mejorarían las condiciones en este tanque, con reducción en los sólidos acarreados por el agua cruda.

4.6.3.2 Filtro grueso de flujo ascendente

Ante las deficiencias en la filtración identificadas por medio de análisis de laboratorio a muestras de agua antes y después de la filtración, de las cuales se puede establecer que la calidad del agua no mejora al pasar por el lecho y que por lo contrario puede empeorar, características que fueron evaluadas en la sección 4.2 Calidad del agua captada y distribuida, además de los registros de calidad del agua en las fuentes de abastecimiento, se plantea el rediseño del sistema de tratamiento de agua potable del acueducto de San Isidro de El Guarco, en el cual se considera además de la calidad del agua, los caudales disponibles en las fuentes de abastecimiento (apartado 4.1) y el QMD (apartado 4.4.2) calculado a partir del consumo *per cápita* real de la comunidad (apartado 4.3) proyectado a 15 años.

Se planteó un sistema de tratamiento FiME con un periodo de diseño de 15 años, integrado por la FGD_i + FGAS₂ + FLA, con el desarenador y rejillas en las tomas de las quebradas como pretratamiento. A continuación se describen las condiciones asumidas para cada uno de los procesos y las dimensiones obtenidas, y en el Apéndice 21 se presenta la distribución del sistema de tratamiento completo. La propuesta contempla tres unidades en paralelo para cada etapa de tratamiento, lo que facilita las labores de limpieza, permitiendo brindar un servicio de abastecimiento continuo y también permite la construcción de dos unidades al inicio hasta completar el sistema al alcanzar el periodo de 15 años.

- **FGDi**

- QD: 21 L/s
- Velocidad de filtración asumida: 3 m/h
- N° de unidades en paralelo: 3
- QD por unidad (Qd): 7 L/s
- Caudal disponible para lavado (QL): se asumió QL=Qd
- Área superficial por unidad (As): 8,40 m² (Valor dentro de lo recomendado <10 m²)
- Ancho asumido (b): 2 m
- Largo (l): 4,20 m
- Altura total (Hf): 1,10 m
- Velocidad superficial de lavado (Vs): 0,23 m/s (Valor dentro de lo recomendado 0,15 a 0,30 m/s)
- Material filtrante, ver Cuadro 4.13

Cuadro 4.13. Material filtrante requerido para la FGDi propuesta

Material filtrante	Volumen (m ³)		Granulometría (mm)*
	Por unidad	Total	
Lecho de soporte	2,52	7,56	13,0 - 25,0
Capa superior	1,68	5,04	3,0 - 6,0
Capa intermedia	1,68	5,04	6,0 - 13,0
Capa inferior	1,68	5,04	13,0 - 25,0

*Adaptado de Gerardo Galvis, Latorre, & Visscher (1999b)

- **FGAS2**

- QD: 21 L/s
- Velocidad de filtración asumida: 0,5 m/h
- N° de unidades en paralelo: 3
- N° de unidades en serie: 2
- QD por unidad en paralelo (Qd): 7 L/s
- Área superficial por unidad (As): 25,20 m² (Valor fuera de lo recomendado 15 - 25 m², es aceptable)Ancho (b): 5,02 m
- Largo (l): 5,02 m
- Altura total unidad 1 (Hf1): 1,50 m
- Altura total unidad 2 (Hf2): 1,50 m
- Material filtrante, ver Cuadro 4.14

Cuadro 4.14. Material filtrante requerido para la FGAS2 propuesta

Material filtrante	Volumen (m ³)		Granulometría (mm)*
	Por unidad	Total	
Lecho de soporte S1	7,56	22,68	19 - 25
Capa superior S1	11,34	34,02	13 - 19
Capa inferior S1	11,34	34,02	6 - 13
Lecho de soporte 1 S2	5,04	15,12	13 - 19
Lecho de soporte 2 S2	3,78	11,34	6 - 13
Capa superior S2	11,34	34,02	3 - 6
Capa inferior S2	10,08	30,24	1,6 - 3

*Adaptado de Gerardo Galvis, Latorre, & Visscher (1999a)

- **FLA**

- QD: 21 L/s
- Velocidad de filtración asumida: 0,3 m/h
- N° de unidades en paralelo: 3
- QD por unidad (Qd): 7 L/s
- Área superficial por unidad (As): 84 m² (Valor dentro de lo recomendado <100 m²)
- Ancho (b): 7,48 m
- Largo (l): 11,22 m
- Altura total (Hf): 1,90 m
- Volumen requerido para el lecho de soporte: ver Cuadro 4.15
- Volumen requerido para el lecho de arena: ver Cuadro 4.15 y coeficiente de uniformidad menor a 5, de preferencia entre 2,0 y 4,0.

Es importante destacar la importancia de garantizar la limpieza de la arena antes de colocarla en el filtro, ya que se requiere que el material esté limpio, libre de arcilla, limo y materia orgánica, aún cuando el proceso demande costos de importancia en mano de obra y agua para el lavado. Con la limpieza de la arena se evita la extracción de esta en un plazo corto para realizar el lavado adecuado y colocarla nuevamente en la estructura de filtración (Galvis, Latorre, & Visscher, 1999d).

Cuadro 4.15. Material filtrante requerido para la FLA propuesta

Material filtrante	Volumen (m ³)		Granulometría (mm)*
	Por unidad	Total	
Lecho de soporte inferior	12,60	37,80	9,0 – 19,0
Lecho de soporte medio	4,20	12,60	2,0 – 9,0
Lecho de soporte superior	4,20	12,60	1,0 – 1,4
Lecho de arena	67,20	201,6	D ₁₀ 0,15 – 0,3

D₁₀: abertura del tamiz a través del cual para el 10% de los granos (en peso)

*Adaptado de Gerardo Galvis et al. (1999)

4.6.3.3 Tanque de almacenamiento

A corto plazo se debe considerar la reparación de las fugas en las paredes del tanque, sin embargo es necesario valorar los costos de reparación del tanque, que de acuerdo a comentarios de miembros de la comunidad tiene entre 20 y 25 años de construido. Ya que para la ASADA podría resultar más conveniente la instalación de otro tipo de tanque para suplir el abastecimiento de la población.

Considerando las proyecciones realizadas se determinó el volumen de almacenamiento requerido para la comunidad de San Isidro, con un periodo de diseño de 15 años. Se obtuvieron los siguientes volúmenes para los tres tipos calculados, de los cuales se seleccionó el volumen mayor:

Volumen de regulación: 519,18 m³

Volumen contra incendios: 144 m³

Volumen de reserva: 288,43 m³

Por lo tanto el acueducto requiere de un volumen de almacenamiento de 520 m³ para cubrir a la población del año 2030. Para la construcción del tanque de almacenamiento se debe considerar dividir el volumen necesario en dos o más tanques, de forma que mientras se trabaja en un tanque, el o los otros tanques se mantengan en funcionamiento, lo que permite brindar un servicio continuo durante los periodos de limpieza, reparaciones o fugas. Para el tanque se pueden contemplar diferentes materiales, desde concreto, plásticos hasta modulares de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio.

4.6.3.4 Desinfección

Para realizar la desinfección se debe garantizar que el agua a clorar no contiene partículas coloidales que causan color y turbiedad para evitar la formación de subproductos de la desinfección (SPD) que afecten la salud de la población, y que además obstaculizan la acción del desinfectante. El equipo que se emplea para la cloración actualmente permite la regulación del caudal de la disolución que ingresa al tanque de almacenamiento, sin embargo el caudal no es medido, esto se puede corregir colocando un caudalímetro, además con mediciones de la concentración de la disolución aplicada se puede establecer la concentración y disolución que corresponde para el caudal que entra al tanque de almacenamiento para ser clorado. Sin embargo para lo anterior es necesario conocer el caudal de entrada, ya sea por medio de un macromedidor o por una estructura hidráulica.

Además la cloración debe ser realizada de forma que se garantiza una mezcla homogénea del desinfectante y el agua para obtener una máxima eficiencia de desinfección. El equipo para la desinfección y las pastillas deben ser almacenados en un lugar fresco y seco, que

permita la ventilación, esto evita la degradación rápida de las pastillas. También es necesario mantener el equipo de protección personal con fácil acceso para el personal, lo que incluye las máscaras para la protección, delantal y guantes.

Tomando en cuentas las dificultades en la lectura del medidor de cloro residual y los registros de los valores, se recomienda corroborar con el personal cuando se realiza una nueva contratación si estos conocen la utilización correcta de los instrumentos de medición y darles una capacitación con los aspectos básicos tanto a los empleados como a los miembros de la junta directiva. Además como soporte para la toma de las concentraciones de cloro residual se creó un formato para el registro de los valores (Apéndice 14), en el cual se incluyó la localización del punto de muestreo, que corresponde al número de abonado, la fecha y hora de la medición, firma del responsable y una casilla de “visto bueno” que será utilizada por la administración para verificar que los valores están dentro del rango establecido.

5 CONCLUSIONES

El acueducto de San Isidro de El Guarco para los años 2014 y 2015 contó con un promedio total captado de $(14,79 \pm 7,08)$ L/s y de $(24,08 \pm 6,12)$ L/s, respectivamente, dependiendo mayoritariamente de aguas superficiales para suplir el abastecimiento de la población; mientras que en planta se obtuvo un aforo de $(15,46 \pm 0,63)$ L/s. Ante la variación de los caudales captados y las precipitaciones se recalca la necesidad de mejorar el método de aforo y el registro de precipitaciones y temperatura, así como de eventos hidrometeorológicos. Con respecto a los reportes de consumo de agua por facturación de la ASADA, los consumos promedio de agua potable para el año 2014 fueron de $(5,1 \pm 0,3)$ L/s y para el año 2015 de $(5,2 \pm 0,3)$ L/s. Se puede establecer grandes pérdidas de agua, de un 36% entre lo captado y el tanque de almacenamiento y de un 67% entre el tanque de almacenamiento y la comunidad. Importante destacar que las pérdidas de agua después del tanque de almacenamiento corresponden a agua clorada.

Con base en la demanda obtenida en los reportes de consumo medidos por usuario, se estableció la dotación neta para esta ASADA en $(180 \pm 13,2)$ L/persona*día, sin embargo es necesario determinar las pérdidas entre la salida del sistema de tratamiento y lo facturado en la red de distribución, así como entre el caudal captado y el caudal que ingresa al sistema de tratamiento.

La oferta de agua de este acueducto se da mediante dos tipos de fuentes, superficiales (2 quebradas) y de nacientes (2 fuentes), donde se aprecia que la calidad de estas es diferente, siendo de buena calidad las tipo naciente y las superficiales presentan condiciones de alta turbiedad y contaminación microbiológica sobre todo en época de lluvia, presentando mejor calidad la naciente Casa Blanca N°1 y al comparar las fuentes superficiales la captación Casa Blanca N°2 presenta menores niveles de contaminación microbiológica y turbidez.

Las proyecciones en el crecimiento demográfico y en el consumo de agua potable para la población de la comunidad de San Isidro alertan de un posible desabastecimiento para el año 2030, si los caudales captados y disponibles disminuyen a valores iguales o menores a los reportados durante el año 2014 y si no se controlan las pérdidas, lo que hace necesario la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, mejoras en los sistemas actuales, en la protección de las fuentes y control y reducción de pérdidas por fugas.

Debido a que las aguas se deben mezclar para llevarlas al sistema de tratamiento y los análisis realizados demostraron que la calidad del agua de las captaciones no mejora al pasar por el tratamiento actual y no se garantiza la potabilización con el proceso de desinfección, se considera la necesidad de tener un sistema de tratamiento completo, por lo anterior en este estudio se propuso el sistema FiME, con la respectiva desinfección, como

el tratamiento más adecuado para ser implementado para la potabilización de las aguas que abastecen al acueducto y que permita la distribución de agua potable a la comunidad.

De acuerdo a las medidas de mejora propuestas en las estructuras de captación, conducción y quiebra gradientes, se considera que la ASADA debe realizar un plan de tal forma que se priorice la ejecución de dichas mejoras. Es importante mencionar que de acuerdo al análisis de la necesidad de agua para los años 2030 y 2035, las estructuras existentes no poseen la capacidad para dar el suministro a la población.

6 RECOMENDACIONES

De tipo técnico:

- Realizar aforos de los caudales de las quebradas que son empleadas como fuentes de abastecimiento para mantener un registro y vigilancia de las variaciones, además de garantizar el caudal ecológico en cada sector.
- Registrar los eventos hidrometeorológicos que afectan el sector de San Isidro y su efecto en el funcionamiento del acueducto, además de crear un registro de las quejas y reportes de fugas de los usuarios (obligatorio de acuerdo al artículo 17.i, ARESEP, 2014), así como de mantenimiento y cortes en el servicio.
- Realizar registros de las actividades efectuadas (bitácora) con información de problemas encontrados en campo, fugas en las estructuras o redes de conducción, vandalismo, entre otros.
- Controlar el rebose en las estructuras, especialmente en el tanque de almacenamiento, donde se pierde el agua clorada.
- Implementar un programa de reducción de pérdidas de agua a nivel técnico y comercial (Programa de agua no contabilizada) que se incorpore de forma permanente a la labores del acueducto.
- Considerar un sitio adecuado para realizar los aforos cuando se implementen mejoras en las estructuras de captación, de forma que se facilite el proceso.
- Colocar rótulos para identificar las captaciones y así evitar confusiones durante los aforos y muestreos para los análisis de laboratorio.
- Implementar el Plan para la Seguridad del Agua (PSA), además de considerar la implementación del programa Sello de Calidad Sanitaria con ICAA, así como participar del programa Bandera Azul Ecológica.

De tipo administrativo:

- Implementar los nuevos controles y frecuencia de muestreos para la calidad de agua potable establecidos en el reglamento N° 38924-S.
- Implementación del Programa de Control de Calidad del Agua, de acuerdo a lo establecido en el reglamento N° 38924-S.
- Realizar análisis para el control de subproductos de la desinfección (SPD) en el agua distribuida a la comunidad.
- Implementar un censo de la población abastecida e instalación de macromedición de caudales para controlar y registrar las variaciones de consumo y con esto detectar posibles fugas o averías y evitar el desperdicio de agua potable.

- Informar a la población abastecida por diferentes medios (boletines, redes sociales, eventos sociales) las fechas de limpieza del tanque de almacenamiento y las razones por las cuales se suspende el servicio.
- Iniciar con campañas de educación, capacitación y sensibilización ambiental en los diferentes sectores de la población que permitan a la comunidad conocer el acueducto y su funcionamiento, además de brindarles información sobre el uso racional y ahorro del agua, detección y denuncia de fugas y averías, prevenir la contaminación y cuidar el medio ambiente.
- Compartir información y experiencias con las otras ASADAs vecinas que permitan la protección conjunta de los recursos hídricos, y crear redes de colaboración en caso de situaciones de emergencia y desabastecimiento.

De mantenimiento:

- Establecer una frecuencia de mantenimiento del sistema de desinfección y garantizar que la persona encargada de realizar estos procesos tenga acceso al equipo necesario (acceso a la bodega de materiales, suministro de pastillas, equipo de protección, entre otros), así como de capacitación.
- Mantener el monitoreo continuo del agua a la entrada del sistema de tratamiento, así como del agua a ser clorada, con los parámetros de control básicos como lo establece el reglamento N° 38924-S, para garantizar la potabilización del agua distribuida.
- Realizar un análisis de las actividades (agrícolas, industriales, comerciales) desarrolladas en el área de protección de las fuentes de abastecimiento, con lo cual se puede prevenir la contaminación y disminución de caudales.
- Implementar un plan de riesgo y vulnerabilidad que abarque todos los componentes del acueducto e involucre a todo el personal, junta administradora, instituciones y la comunidad.
- Cumplir con la frecuencia de aforo y lavado de las estructuras de acuerdo al plan de trabajo establecido, si se deben suspender las actividades es necesario retomarlas en la fecha más próxima e informar a la población.
- Brindar capacitación adecuada y un ambiente de trabajo respetuoso y que estimulante a los trabajadores, ya que el trabajo de los operadores y administradores es esencial para contribuir con la salud de la población y mantener la sostenibilidad de las obras. Un buen diseño, proceso constructivo y calidad de las obras contribuirán a la sostenibilidad del sistema de tratamiento si no se opera y se da el mantenimiento adecuado (Galvis, Latorre, & Visscher, 1999e).

7 REFERENCIAS

- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. (2012). *Standard methods for the examination of water & wastewater*. (American Public Health Association, Ed.). Washington.
- Angulo, F. (2015). *Gestión del recurso hídrico y saneamiento en Costa Rica. VIGESIMOPRIMER INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE* (Vol. 18). San José. Recuperado de http://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/021/ambiente/Angulo_RH_y_saneamiento.pdf
- Asamblea Legislativa República de Costa Rica. (1996). Ley Forestal. *Diario Oficial La Gaceta*, (72), 1–102. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=FN
- Asamblea Legislativa República de Costa Rica. (2008). Declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público y reforma de leyes conexas. *Diario Oficial La Gaceta*, (121), 1–5. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=63405&nValor3=72842&strTipM=FN
- Astorga, Y., & Angulo, F. (2013). *Gestión del recurso hídrico y saneamiento*. San José. Recuperado de http://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/020/ambiente/Astorga_y_Angulo_Recurso_Hídrico_y_Saneamiento.pdf
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). (2014). Reglamento prestación de los servicios de Acueducto , Alcantarillado Sanitario e Hidrantes. *Diario Oficial La Gaceta*, (186). Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=78860&nValor3=99511&strTipM=FN
- Ballesteros Vargas, M. (2013). *Agenda del Agua de Costa Rica - Agosto 2013*. San José. Recuperado de http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/Agenda-Agua-Costa-Rica_ELFFIL20131031_0003.pdf
- Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales (Cedarena). (2013). *Transparencia y rendición de cuentas en las ASADAS*. San José. Recuperado de <https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Manual para las ASADAS - Cedarena - Transparencia y Rendición de Cuentas.pdf>
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE). (2006). Amenazas Naturales del Cantón de El Guarco. Recuperado en Enero 25, 2016, from <http://www.cne.go.cr/Atlas de Amenazas/ELGUARCO.htm>
- Comisión Nacional del Agua. Norma técnica: métodos de proyección de población, Pub. L. No. CNA-NT-I-HA-001 (1998). Recuperado de

https://www.academia.edu/1471987/MÉTODOS_de_PROYECCIÓN_de_POBLACIÓN

- Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José. Recuperado de http://www.cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod-1/Documentos/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. Ley de Aguas N°276 (1942). Costa Rica. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&nValor5=69325
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (2001). *Climate Change Information Kit*. France. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/iuckit/cckit2001en.pdf>
- Costa Rica Poder Ejecutivo. Reglamento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales- N° 32529 (2005). Costa Rica. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=55240&nValor3=88914¶m2=1&strTipM=TC&lResultado=4&strSim=simp#up
- Costa Rica Poder Ejecutivo. (2009). DIVISIÓN TERRITORIAL ADMINISTRATIVA DE COSTA RICA SEGÚN DECRETO N° 35213-MG. *Diario Oficial La Gaceta*, (100). Recuperado de <http://www.ifam.go.cr/PaginaIFAM/ifams/Descargas/CDI/Legal/División Territorial CR> Publicado en La Gaceta 26 mayo 2009.pdf
- Costa Rica Poder Ejecutivo. Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S, 1 Diario Oficial La Gaceta 1-49 (2015). San José, Costa Rica: Imprenta Nacional. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC
- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999a). Conceptos en el Mejoramiento de la Calidad del Agua. En *Filtración en Múltiples Etapas Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Agua* (pp. 1-14). Santiago de Cali.
- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999b). Filtración Gruesa Ascendente. En *Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Inovativa para el tratamiento de Agua*. (p. 8). Santiago de Cali.
- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999c). Filtración Gruesa Dinámica. En *Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Inovativa para el tratamiento de Agua*. (p. 5). Santiago de Cali.

- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999d). Filtración Lenta en Arena. En *Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Innovativa para el tratamiento de Agua*. Santiago de Cali.
- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999e). La Búsqueda de Soluciones Sostenibles. En *Filtración en Múltiples Etapas Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Agua*. Santiago de Cali.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA). Normas de diseño de agua potable y no autorización para el uso de tuberías PVC-SDR-41. (2001). San José: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Recuperado de <http://www.bcie.org/uploaded/content/article/1496370752.pdf>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA), & Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM). (2010). *Programa de Agua Potable y Saneamiento de Sistemas Municipales ANEXO 2: CRITERIOS DE DISEÑO*. San José. Recuperado de [http://www.ifam.go.cr/docs/planesmaestros/ANEXOS/GENERALES/Anexo 2 Criterios de Dise?o.pdf](http://www.ifam.go.cr/docs/planesmaestros/ANEXOS/GENERALES/Anexo_2_Criterios_de_Dise%o.pdf)
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2009). Atlas Climatológico de Costa Rica. San José. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/atlas-climatologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2010). Boletín Meteorológico Mensual 2010. Recuperado el 11 de febrero, 2016, from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2011). Boletín Meteorológico Mensual 2011. Recuperado el 11 de febrero 2016, from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2012). Boletín Meteorológico Mensual 2012. Recuperado el 11 de febrero, 2016, from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2013). Boletín Meteorológico Mensual 2013. Recuperado el 11 de febrero, 2016, from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2014). Boletín Meteorológico Mensual 2014. Recuperado el 15 de diciembre, 2015, from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2015). Boletín Meteorológico Mensual 2015. Recuperado el 15 de diciembre,, 2015, from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE), & Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2014). *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. San José. Recuperado de http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/terceracomunicacion2014-web_0.pdf
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2013). *Costa*

Rica Índice de Desarrollo Social (IDS). San José. Recuperado de http://www.mideplan.go.cr/index.php/?option=com_content&view=category&id=249

- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia. (2010). Título B. Sistemas de Acueducto. In Viceministerio de Agua y Saneamiento (Ed.), *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico* (2 ed, p. 480). Bogotá, D.C. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO B 030714.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (WHO). (2011). *Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.* (WHO, Ed.) *WHO chronicle*. Geneva. [http://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](http://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)
- Organización Mundial de la Salud (WHO), & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2015). *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. New York. Recuperado de <http://apps.who.int/iris/handle/10665/177752>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2005a). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2005b). *Guías para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/174esp-diseno-FiME.pdf>
- Representaciones Televisivas Repretel S.A. (2015). Fuerte aguacero provoca inundaciones en Cartago. Costa Rica. Recuperado de <http://www.repretel.com/actualidad/fuerte-aguacero-provoca-inundaciones-en-cartago-5402>
- Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Serodes, J., & Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749–756. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007
- Sánchez, F. (2012). *Estudio de Evaluación y Diseño, Sistema de Agua Potable Acueducto San Isidro de El Guarco de Cartago*. Cartago.
- Sánchez, L. D., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2007). *Filtración en Múltiples Etapas*. (P. McIntyre, Ed.). Delft. Recuperado de <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion 6 Tratamiento de agua/Filtración en multiples etapas IRC.pdf>

- Solano, F. R. W. (2013). *Situación de Vivienda y Desarrollo Urbano en Costa Rica en el 2012*. San José. Recuperado de <http://www.fuprovi.org/files/pdf/situacion-de-la-vivienda-y-desarrollo-urbano-en-costa-rica-2012-ii-parte.pdf>
- Subgerencia Gestión de Sistema Comunales-ICAA. (2008). *Aspectos básicos para la gestión de las nuevas ASADAs*. San José. Recuperado de [https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Aspectos Básicos de las ASADAs.pdf](https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Aspectos%20B%C3%A1sicos%20de%20las%20ASADAs.pdf)
- Tecnológico de Costa Rica. (2014). Atlas Digital de Costa Rica 2014 ©. Cartago.
- Torres-Degró, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE Digital*, 2(1), 142 –160. Recuperado de <http://soph.md.rcm.upr.edu/demo/index.php/cide-digital/publicaciones> \n[http://soph.md.rcm.upr.edu/demo/images/CIDEdigital/vo2no1/CIDEvo2no1-Arnaldo Torres Degro-Tasa crecimiento poblacional.pdf](http://soph.md.rcm.upr.edu/demo/images/CIDEdigital/vo2no1/CIDEvo2no1-Arnaldo%20Torres%20Degro-Tasa%20crecimiento%20poblacional.pdf)
- Vargas, L. (2004a). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. En CEPIS (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría*. (pp. 216–283). Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoII/once.pdf>
- Vargas, L. (2004b). Procesos unitarios y plantas de tratamiento. In CEPIS (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría*. (pp. 104–150). Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/tres.pdf>
- World Water Assessment Programme (WWAP). (2012). *Managing Water under Uncertainty and Risk* (Vol. 1). Paris. Recuperado de http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/es/detallePer_Onu?id=71

8 APÉNDICES

APÉNDICE 1. REGISTRO DE CAUDALES CAPTADOS 2014 - 2015

Cuadro A.1. 1. Registro mensual de caudales captados en cada una de las fuentes del acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago 2014

Mes	Caudal por fuente (L/s)					TOTAL
	El Gringo	Lobo N° 1 (antigua)	Lobo N° 2	Casa Blanca N° 1 Naciente	Casa Blanca N° 2	
Enero	0,30	5,08	0,25	N.R.	5,80	11,43
Febrero	0,30	5,05	0,20	N.R.	5,00	10,55
Marzo	0,25	2,50	0,20	N.R.	2,00	4,95
Abril	0,20	2,00	0,20	N.R.	1,00	3,40
Mayo	N.R.	5,48	4,39	0,37	4,93	15,17
Junio	N.R.	8,06	0,54	0,40	2,21	11,21
Julio	N.R.	8,06	0,55	0,47	3,04	12,12
Agosto	N.R.	7,49	3,88	0,51	5,73	17,61
Setiembre	N.R.	8,66	5,68	0,92	9,09	24,35
Octubre	N.R.	8,87	4,47	0,64	7,98	21,96
Noviembre	N.R.	5,25	8,20	0,45	6,40	20,30
Diciembre	N.R.	4,26	9,09	1,02	10,10	24,47
Promedio	0,26	5,90	3,14	0,60	5,27	17,79
σ	0,05	2,33	3,29	0,25	2,87	7,08

Nota: N.R. valores no reportados

Cuadro A.1. 2. Registro mensual de caudales captados en cada una de las fuentes de la ASADA San Isidro de El Guarco, Cartago 2015

Mes	Caudal por fuente (L/s)						TOTAL
	El Gringo	Lobo N° 1 (antigua)	Lobo N° 2	Lobo N° 1 (nueva)	Casa Blanca N° 1 Naciente	Casa Blanca N° 2	
Enero	2,09	8,33	5,92	N.R.	1,21	8,69	26,24
Febrero	1,30	11,10	5,22	N.R.	1,16	10,05	28,83
Marzo	1,79	8,58	5,14	N.R.	1,14	5,49	22,14
Abril	0,34	10,23	5,05	N.R.	0,82	5,63	22,07
Mayo	0,41	8,77	4,77	N.R.	0,71	6,14	20,92
Junio	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
Julio	2,13	3,38	N.R.	N.R.	1,35	5,96	12,83
Agosto	N.R.	2,43	4,71	11,54	1,10	3,29	23,07
Setiembre	N.R.	N.R.	6,42	22,00	0,81	7,70	36,92
Octubre	N.R.	N.R.	4,57	13,64	N.R.	9,78	27,99
Noviembre	N.R.	N.R.	4,35	13,51	1,52	5,09	24,47
Diciembre	N.R.	N.R.	4,25	11,49	1,19	2,49	19,41
Promedio	1,34	7,55	5,04	14,44	1,10	6,39	24,08
σ	0,81	3,33	0,69	4,35	0,25	2,45	9,08

Nota: N.R. valores no reportados

**APÉNDICE 2. REGISTRO DE AFOROS REALIZADOS EN LAS
CAPTACIONES DE LA ASADA DE SAN ISIDRO DE EL GUARCO**

Cuadro A.2. 1. Registro de aforos para el mes de febrero de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	28-feb-15	28-feb-15	28-feb-15	28-feb-15	28-feb-15
Fuente:	El Gringo	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	15,46	2,35	4,33	19,50	2,77
2	17,95	1,67	4,22	18,95	2,15
3	17,21	1,55	4,26	19,33	2,19
4	14,49	2,13	4,08	17,15	1,84
5	19,54	2,21	4,17	19,54	2,00
Promedio (s):	16,93	1,98	4,21	18,89	2,19
Caudal (L/s):	1,31	11,40	5,23	1,17	10,24
Desviación estándar:	0,16	2,14	0,12	0,07	1,49

Cuadro A.2. 2. Registro de aforos para el mes de marzo de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	1-abr-15	1-abr-15	1-abr-15	1-abr-15	1-abr-15
Fuente:	El Gringo	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	10,40	2,70	3,37	16,50	3,53
2	10,20	2,30	4,02	17,98	3,68
3	10,87	2,10	3,86	16,59	3,59
4	11,67	2,19	3,77	17,89	3,84
5	11,77	2,27	4,02	17,29	3,55
6	11,93	2,23	4,10	18,20	3,66
7	11,59	2,52	4,11	18,20	3,66
Promedio (s):	11,20	2,33	3,89	17,52	3,64
Caudal (L/s)	1,97	9,50	5,68	1,26	6,04
Desviación estándar	0,13	0,80	0,42	0,05	0,17

Cuadro A.2. 3. Registro de aforos para el mes de abril de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	4-may-15	4-may-15	4-may-15	4-may-15	4-may-15
Fuente:	El Gringo	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	58,49	1,79	3,95	23,61	3,88
2	57,44	2,07	3,68	26,78	3,63
3	58,13	2,59	4,52	23,31	3,51
4	58,83	1,45	3,94	24,03	3,51
5	58,26	2,22	4,10	25,08	3,63
6	57,19	1,76	3,70	26,15	3,40
7	58,63	1,81	3,84	21,73	3,29
Promedio (s):	58,14	1,96	3,96	24,38	3,55
Caudal (L/s)	0,38	11,59	5,58	0,91	6,21
Desviación estándar	0,01	2,15	0,38	0,07	0,33

Cuadro A.2. 4. Registro de aforos para el mes de mayo de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	1-jun-15	1-jun-15	1-jun-15	1-jun-15	1-jun-15	1-jun-15
Fuente:	El Gringo	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2	Lobo 3 * (Los Vega)
Volumen (L):	22	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	51,49	2,59	4,76	28,83	3,74	160,40
2	54,77	2,66	4,84	34,33	3,92	170,00
3	54,30	2,41	4,57	38,56	3,65	170,00
4	54,62	2,85	4,51	33,09	3,53	-
5	55,45	2,46	4,38	27,80	3,38	-
6	54,06	2,04	4,70	25,86	3,41	-
7	55,22	2,55	4,54	27,40	3,47	-
Promedio (s):	54,27	2,51	4,61	30,84	3,59	166,79
Caudal (L/s)	0,41	8,85	4,77	0,73	6,14	0,13
Desviación estándar	0,01	0,97	0,17	0,10	0,33	0,004

Nota: * Se trató de realizar el aforo en una nueva captación propuesta por la ASADA, la cual contaba con captación, sin embargo el flujo de agua no fue suficiente para realizar más mediciones ni para abastecer a la población meta.

Cuadro A.2. 5. Registro de aforos para el mes de julio de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	29-jul-15	29-jul-15	29-jul-15	29-jul-15	29-jul-15
Fuente:	El Gringo	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2 *	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	10,74	7,97	-	15,36	3,56
2	11,14	8,71	-	16,24	3,81
3	8,58	4,23	-	17,69	3,57
4	12,52	7,32	-	15,90	3,91
5	10,59	5,92	-	16,22	3,34
6	9,41	6,66	-	16,56	3,70
7	9,24	4,70	-	15,99	3,95
Promedio (s):	10,32	6,50	-	16,28	3,69
Caudal (L/s)	2,16	3,60	-	1,35	5,98
Desviación estándar	0,28	1,00	-	0,06	0,36

Nota: * No fue posible realizar el aforo en la captación por dificultades en la tubería.

Cuadro A.2. 6. Registro de aforos para el mes de agosto de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	7-sep-15	7-sep-15	7-sep-15	7-sep-15	7-sep-15
Fuente:	El Gringo*	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	-	8,76	4,93	18,23	5,21
2	-	9,73	5,22	20,71	5,23
3	-	7,75	4,43	19,04	5,70
4	-	8,88	4,88	19,74	8,40
5	-	9,00	4,60	20,38	8,13
6	-	9,27	4,16	20,70	7,67
7	-	10,09	4,49	20,70	6,42
Promedio (s):	-	9,07	4,67	19,93	6,68
Caudal (L/s)	-	2,44	4,73	1,11	3,42
Desviación estándar	-	0,21	0,36	0,06	0,70

Nota: * No fue posible realizar el aforo porque no llegaba agua en la tubería.

Cuadro A.2. 7. Registro de aforos para el mes de setiembre de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	19-oct-15	19-oct-15	19-oct-15	19-oct-15	19-oct-15
Fuente:	El Gringo*	Lobo 1 (Antigua)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	-	1,00	3,00	26,00	2,00
2	-	1,00	4,00	27,00	3,00
3	-	1,00	4,00	27,00	3,00
4	-	1,00	3,00	26,00	3,00
5	-	1,00	3,00	27,00	3,00
6	-	1,00	3,00	29,00	3,00
7	-	1,00	4,00	29,00	3,00
Promedio (s):	-	1,00	3,43	27,29	2,86
Caudal (L/s)	-	22,00	6,55	0,81	7,86
Desviación estándar	-	0,01	0,98	0,04	1,39

Nota: * No fue posible realizar el aforo porque no llegaba agua en la tubería.

Cuadro A.2. 8. Registro de aforos para el mes de octubre de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	11-nov-15	11-nov-15	11-nov-15	11-nov-15	11-nov-15
Fuente:	El Gringo*	Lobo 1** (nueva)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente***	Casa Blanca 2
Volumen (L):	22	22	22	22	22
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	-	1,64	4,41	-	2,28
2	-	1,45	4,99	-	2,00
3	-	1,72	4,91	-	2,25
4	-	1,62	4,71	-	2,62
5	-	1,61	5,24	-	2,26
6	-	1,65	4,93	-	2,17
7	-	1,60	4,50	-	2,17
Promedio (s):	-	1,61	4,81	-	2,25
Caudal (L/s)	-	13,67	4,57	-	9,83
Desviación estándar	-	0,73	0,28	-	0,78

Nota: * No fue posible realizar el aforo porque no llegaba agua en la tubería. ** Se realizó el aforo en la nueva captación, en el lavado, ya que la captación Lobo 1 (antigua) se dejó de utilizar y no era posible aforarla. *** No se realizó el aforo porque la ASADA realizaba labores de mantenimiento en la estructura de captación de la naciente.

Cuadro A.2. 9. Registro de aforos para el mes de noviembre de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	15-dic-15	15-dic-15	15-dic-15	15-dic-15	15-dic-15
Fuente:	El Gringo*	Lobo 1 (nueva)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	20	20	20	20	20
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	-	1,32	4,56	13,26	3,64
2	-	1,53	4,37	13,08	3,72
3	-	1,59	4,78	13,81	4,09
4	-	1,46	4,66	13,28	3,91
5	-	1,76	4,70	13,27	4,10
6	-	1,25	4,49	12,45	3,91
7	-	1,45	4,65	13,23	4,13
Promedio (s):	-	1,48	4,60	13,20	3,93
Caudal (L/s)	-	13,67	4,35	1,52	5,10
Desviación estándar	-	1,55	0,13	0,05	0,26

Nota: * No fue posible realizar el aforo porque no llegaba agua en la tubería.

Cuadro A.2. 10. Registro de aforos para el mes de diciembre de 2015, ASADA San Isidro de El Guarco

Fecha:	12-ene-16	12-ene-16	12-ene-16	12-ene-16	12-ene-16
Fuente:	El Gringo*	Lobo 1 (nueva)	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2
Volumen (L):	20	20	20	20	20
Medición	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	-	1,52	4,66	16,41	8,22
2	-	1,63	4,85	17,31	8,15
3	-	1,76	4,63	17,27	8,13
4	-	1,90	4,67	16,32	7,30
5	-	1,96	4,74	16,84	7,57
6	-	1,88	4,58	17,08	8,55
7	-	1,53	4,84	16,68	8,38
Promedio (s):	-	1,74	4,71	16,84	8,04
Caudal (L/s)	-	11,60	4,25	1,19	2,49
Desviación estándar	-	1,23	0,09	0,03	0,14

Nota: * No fue posible realizar el aforo porque no llegaba agua en la tubería.

APÉNDICE 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS PUNTOS DE AFORO

Cuadro A.3. 1. Registro fotográfico de los lugares donde se realizan los aforos de las captaciones del acueducto

Captación	Fotografía	
Casa Blanca N°1 (Naciente)		
	Antiguo lugar de aforo, en el tanque de reunión	Nuevo lugar de aforo, tubería de lavado de la nueva captación
Casa Blanca N° 2		
	Se suelta la tubería en una unión en la margen de la quebrada	Reacomodo de tubería después del aforo
Lobo N°1 (antigua)		
	Aforo en la cercanía del tanque de reunión, se desconecta la tubería en la margen de la quebrada	

Continuación Cuadro A.3. 1

Captación	Fotografía
Lobo N°2	  <p data-bbox="397 640 990 682">Aforo en el cauce de la quebrada desconectando la tubería de captación</p> <p data-bbox="1031 640 1388 682">Colocación de la tubería después del aforo</p>
LoboN°1 (nueva)	  <p data-bbox="479 1081 909 1113">Aforo en la tubería de lavado de la captación</p> <p data-bbox="1161 1081 1266 1113">Captación</p>
El Gringo (Naciente)	  <p data-bbox="389 1501 1031 1558">Ubicación del sitio de aforo, fotografía tomada desde la margen de la quebrada</p> <p data-bbox="1047 1501 1380 1558">Fotografía tomada más cercana al lugar de aforo</p>

APÉNDICE 4. MUESTRA DE FICHAS PARA EL REGISTRO DE AFOROS



Registro de aforos, ASADA San Isidro de El Guarco, Cartago

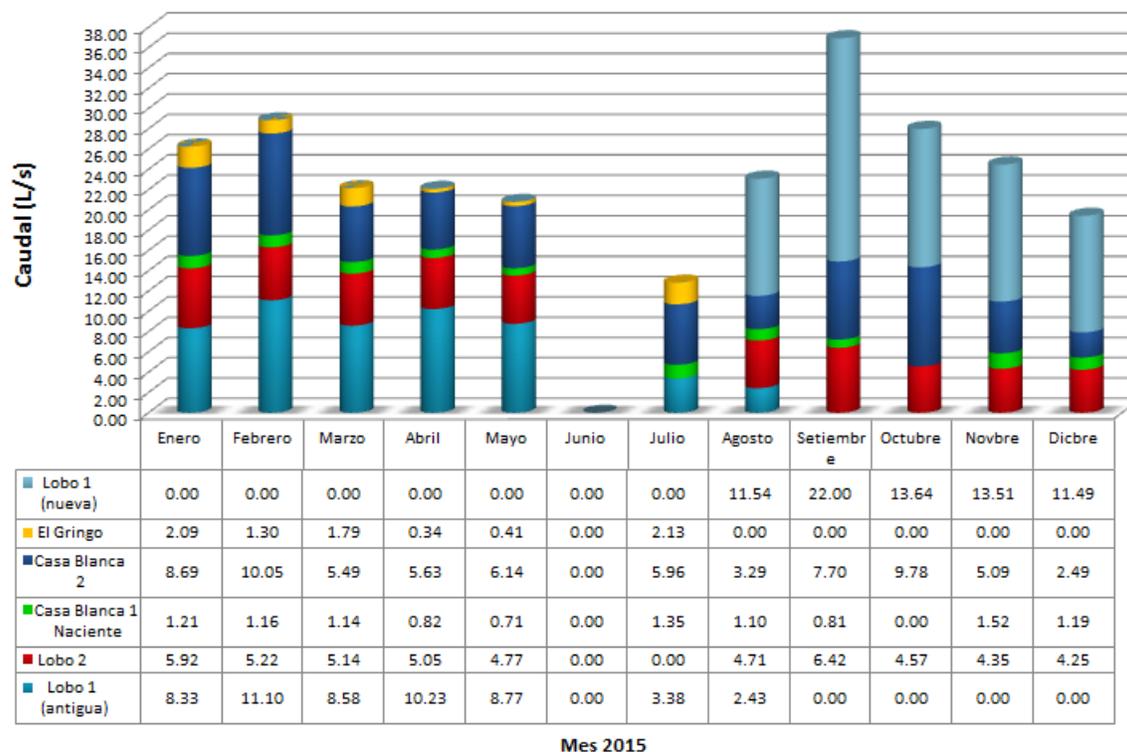
ENERO 2016						
Fuente:	El Gringo Naciente	Lobo 1	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2	
Fecha:						
Volumen (L):						
Medición	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
Promedio (s):						
Caudal (L/s)						
Firma Responsable:						
FEBRERO 2016						
Fuente:	El Gringo Naciente	Lobo 1	Lobo 2	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2	
Fecha:						
Volumen (L):						
Medición	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):	Tiempo (s):
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
Promedio (s):						
Caudal (L/s)						
Firma Responsable:						

APÉNDICE 5. MUESTRA DE LOS REGISTROS DE CAUDALES Y GRÁFICOS GENERADOS EN EXCEL

Mes	Caudal por Fuente (L/s)							TOTAL
	El Gringo	Lobo 1 (antigua)	Lobo 2	Lobo 1 (nueva)	Casa Blanca 1 Naciente	Casa Blanca 2	Lobo 3 (Los Vega)	
Enero	2.09	8.33	5.92	N.R.	1.21	8.69	*	26.24
Febrero	1.30	11.10	5.22	N.R.	1.16	10.05	*	28.83
Marzo	1.79	8.58	5.14	N.R.	1.14	5.49	*	22.14
Abril	0.34	10.23	5.05	N.R.	0.82	5.63	*	22.07
Mayo	0.41	8.77	4.77	N.R.	0.71	6.14	0.13	20.92
Junio	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	*	0.00
Julio	2.13	3.38	N.R.	N.R.	1.35	5.96	*	12.83
Agosto	N.R.	2.43	4.71	11.54	1.10	3.29	*	23.07
Setiembre	N.R.	N.R.	6.42	22.00	0.81	7.70	*	36.92
Octubre	N.R.	N.R.	4.57	13.64	N.R.	9.78	N.R.	27.99
Novbre	N.R.	N.R.	4.35	13.51	1.52	5.09	N.R.	24.47
Dicbre	N.R.	N.R.	4.25	11.49	1.19	2.49		19.41

Notas: * La naciente Lobo 3 (Los Vega) no se encontraba captada para ese momento

Caudal por captación de la ASADA San Isidro de El Guarco, Cartago durante el 2015



APÉNDICE 6. GUÍA PARA REALIZAR LOS AFOROS VOLUMÉTRICOS

Aforo Volumétrico

¿Qué es el aforo?

El aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado.

El aforo por método volumétrico consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido.

Materiales necesarios:



Recipiente de volumen conocido, adecuado para el caudal a medir



Cronómetro



Libreta y lápiz

Pasos a seguir en campo:

1. Colocar el recipiente en un lugar donde se desvíe todo el caudal a medir y que permita estabilidad
2. Medir con el cronómetro el tiempo que tarda en llenarse el recipiente y anotar el valor
3. Repetir las mediciones 7 veces

Pasos a seguir en la oficina:

1. Anotar los valores de volumen del recipiente en Litros y los 7 tiempos de llenado en segundos en la ficha
 - Para calcular el promedio se debe:
2.  Sumar los **7** valores de tiempo obtenidos
3.  Dividir el resultado de la suma entre **7**
 - Para calcular el caudal se debe:
4.  Dividir el volumen del recipiente usado entre el promedio

Ejemplo:

Se realizó el aforo de una naciente con un recipiente de **20 L** y se obtuvieron los siguientes tiempos de llenado en **segundos**: **16,41 - 17,31 - 17,27 - 16,32 - 16,84 - 17,08 - 16,68**

1. Se anotaron los valores en la ficha de registro
2. Se suman los valores: **$16,41 + 17,31 + 17,27 + 16,32 + 16,84 + 17,08 + 16,68 = 117,91$ s**
3. Se divide el resultado de la suma entre 7: **$117,91 \text{ s} \div 7 = 16,84$ s (Promedio)**
4. Se divide el volumen del recipiente entre el promedio: **$20 \text{ L} \div 16,84 \text{ s} = 1,19$ L/s (Caudal)**

APÉNDICE 7. REGISTRO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LA ASADA

Cuadro A.7. 1. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la naciente Casa Blanca N°1

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
14-mar-14	<1	N.R.	7.80*	3*	<0.1*	N.R.	N.R.	50.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-jun-14	<1	<1	6.60*	10.00*	0.26*	N.R.	N.R.	62.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-abr-15	Positivo	Negativo	6.45	-	6.06	-	-	54.10	-	-	17.9	**
25-may-15	Positivo	Positivo	5.94	-	0.63	-	-	53.90	-	-	17.8	Precipitaciones la noche anterior al muestreo**
28-jul-15	79	79	6.80*	2.3*	0.27*	Aceptable	Aceptable	70.0*	0.06*	< 0.02*	18.0*	Realizado por la ASADA
29-jul-15	Positivo	Positivo	6.33	-	1.04	-	-	65.70	-	-	18.9	**
26-ago-15	Positivo	Positivo	6.76	-	0.92	-	-	43.70	-	-	18.2	**
22-sep-15	Positivo	Negativo	5.57	-	1.11	-	-	50.30	-	-	18.1	**
13-oct-15	198.9	2.0	6.46	-	1.36	-	-	43.80	-	-	19.1	Fuertes lluvias el día anterior / inundaciones**
11-nov-15	26.6	<1.0	6.12	-	1.80	-	-	42.50	-	-	17.5	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 2. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la captación Casa Blanca N°2

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) μ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
14-mar-14	<1	N.R.	7.57*	< 3*	<0.1*	-	-	50.0*	-	-	N.R.	Realizado por la ASADA
27-jun-14	<1	<1	6.7*	3.00*	0.14*	-	-	49.0*	-	-	N.R.	Realizado por la ASADA
27-abr-15	Positivo	Positivo	6.83	-	5.55	-	-	63.20	-	-	16.8	**
25-may-15	Positivo	Positivo	6.34	-	1.72	-	-	56.00	-	-	16.6	Precipitaciones la noche anterior al muestreo**
28-jul-15	110	110	6.70*	2.3*	0.28*	Aceptable	Aceptable	72.0*	0.03*	< 0.02*	18.0	Realizado por la ASADA
29-jul-15	Positivo	Positivo	6.50	-	5.27	-	-	50.90	-	-	17.0	**
26-ago-15	Positivo	Positivo	7.28	-	7.12	-	-	51.00	-	-	17.8	**
22-sep-15	Positivo	Positivo	5.61	-	4.99	-	-	52.70	-	-	17.1	**
13-oct-15	>2419.6	235.9	7.11	-	10.27	-	-	27.30	-	-	18.5	Fuertes lluvias el día anterior / inundaciones**
11-nov-15	>2419	52	6.35	-	5.15	-	-	36.30	-	-	17.1	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 3. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la captación Lobo

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
27-jun-14	<1	<1	6.89*	3.00*	<0.1*	-	-	83.0*	-	-	N.R.	Realizado por la ASADA
27-abr-15	Positivo	Positivo	6.90	-	8.02	-	-	105.60	-	-	17.2	**
25-may-15	Positivo	Positivo	6.85	-	2.94	-	-	91.20	-	-	17.2	Precipitaciones la noche anterior al muestreo**
28-jul-15	49	49	6.70*	3.4*	< 0.05*	Aceptable	Aceptable	47.0*	< 0.02	< 0.02	17.0	Realizado por la ASADA
29-jul-15	Positivo	Positivo	6.73	-	4.93	-	-	77.70	-	-	17.7	**
26-ago-15	Positivo	Positivo	7.41	-	3.46	-	-	82.00	-	-	17.5	**
22-sep-15	Positivo	Positivo	6.01	-	3.83	-	-	91.00	-	-	17.4	**
13-oct-15	>2419.6	344.1	7.32	-	20.68	-	-	46.10	-	-	18.6	Fuertes lluvias el día** anterior / inundaciones
11-nov-15	>2419	72.3	6.45	-	4.17	-	-	62.20	-	-	17.1	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 4. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la naciente El Gringo

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
27-abr-15	Positivo	Negativo	5.16	-	5.52	-	-	37.60	-	-	20.0	**
29-jul-15	Positivo	Positivo	5.21	-	0.65	-	-	34.30	-	-	19.6	**
26-ago-15	Positivo	Negativo	5.56	-	1.07	-	-	29.70	-	-	18.8	**
22-sep-15	Positivo	Negativo	4.82	-	1.04	-	-	35.50	-	-	18.9	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 5. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para el tanque de almacenamiento

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
17-abr-13	<1	N.R.	7.47*	< 3*	0.10*	Aceptable	Aceptable	96.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
26-jul-13	<1	N.R.	6.37*	5.00*	0.50*	Aceptable	Aceptable	188.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
12-dic-13	<1	N.R.	7.37*	3.00*	0.34*	Aceptable	Aceptable	75.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-jun-14	<1	<1	6.77*	3.00*	0.22*	Aceptable	Aceptable	73.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-abr-15	Positivo	Positivo	6.55	-	3.11	-	-	99.20	N.R.	-	20.9	**
12-may-15	Positivo	Negativo	6.61	-	1.23	-	-	94.20	0.17	-	19.9	Precipitaciones durante el muestreo**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S. N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Continuación Cuadro A.7. 5

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
25-may-15	Positivo	Positivo	6.61	-	2.79	-	-	85.0	N.R.	-	19.5	Precipitaciones la noche anterior **
28-jul-15	<1.1	<1.1	6.30*	< 0.20*	0.08*	Aceptable	Aceptable	68.0*	0.50*	< 0.02*	18.0*	Realizado por la ASADA
09-jun-15	Positivo	Positivo	6.30	-	2.05	-	-		0.07	-	18.8	**
29-jul-15	Positivo	Positivo	6.13	-	3.69	-	-	65.50		-	18.4	**
11-ago-15	Positivo	Negativo	5.61	-	2.38	-	-	74.60	0.88	-	19.0	**
26-ago-15	Positivo	Negativo	7.17	-	2.07	-	-	69.30	N.R.	-	19.9	**
07-sep-15	Positivo	Negativo	5.58	-	1.86	-	-	80.70	N.R.	-	18.0	**
22-sep-15	Positivo	Negativo	5.91	-	2.63	-	-	80.30	N.R.		19.5	Limpieza y remoción del lecho de los filtros, se cloraba agua cruda**
13-oct-15	980.4	76.7	7.09	-	29.80	-	-	37.70	N.R.	-	19.9	Fuertes lluvias día anterior / inundaciones**
19-oct-15	Positivo	Positivo	7.04	-	5.79	-	-	39.40	0.07	-	21.1	Sin desinfección por falta de acceso a las pastillas**
11-nov-15	>2419	55.6	6.78	-	4.64	-	-	61.30	0.23	-	20.1	

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.
 N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 6. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para el tanque estabilizador (entrada a sistema de tratamiento)

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
27-abr-15	N.R	N.R	7.02	-	5.20	-	-	99.20	-	-	19.6	**
12-may-15	Positivo	Positivo	6.69	-	3.69	-	-	93.20	-	-	19.4	Precipitaciones durante el muestreo**
25-may-15	Positivo	Positivo	6.80	-	4.46	-	-	84.70	-	-	19.3	Precipitaciones la noche anterior al muestreo**
11-ago-15	Positivo	Positivo	5.82	-	3.02	-	-	73.20	-	-	19.6	**
26-ago-15	Positivo	Positivo	7.13	-	2.25	-	-	67.00	-	-	19.4	**
07-sep-15	Positivo	Positivo	5.87	-	2.25	-	-	81.10	-	-	17.8	**
13-oct-15	>2419.6	275.7	7.27	-	23.13	-	-	39.30	-	-	19.8	Fuertes lluvias el día anterior / inundaciones**
19-oct-15	Positivo	Positivo	6.99	-	6.25	-	-	39.50	-	-	20.5	**
11-nov-15	>2419	58.1	6.94	-	3.43	-	-	61.70	-	-	18.9	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 7. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para el tanque de reunión (mezcla)

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
27-abr-15	Positivo	Positivo	7.23	-	6.31	-	-	105.80	-	-	18.4	**
25-may-15	Positivo	Positivo	6.74	-	4.27	-	-	90.90	-	-	17.2	Precipitaciones la noche anterior al muestreo**
13-oct-15	>2419.6	344.8	7.29	-	23.42	-	-	46.20	-	-	19.4	Fuertes lluvias el día anterior / inundaciones**
11-nov-15	>2419	67.6	6.59	-	4.14	-	-	62.40	-	-	17.4	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 8. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la salida del filtro

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1												
Fecha	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
29-jul-15	Positivo	Positivo	6.33	-	5.86	-	-	65.70	-	-	18.9	**
11-ago-15	Positivo	Positivo	5.79	-	2.85	-	-	73.10	-	-	19.6	**
26-ago-15	Positivo	Positivo	7.11	-	2.31	-	-	68.30	-	-	19.3	**
07-sep-15	Positivo	Positivo	5.60	-	2.29	-	-	80.90	-	-	17.8	**
13-oct-15	>2419.6	290.9	7.22	-	22.71	-	-	38.70	-	-	20.5	Fuertes lluvias el día anterior / inundaciones**
19-oct-15	Positivo	Positivo	6.94	-	7.11	-	-	40.00	-	-	21.4	**
11-nov-15	1986.3	71.2	6.88	-	4.56	-	-	61.50	-	-	19.6	**

Notas: Se identifica con **sombreado** los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. ** Muestreo realizado por la investigadora.

Cuadro A.7. 9. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para las muestras en la red de distribución

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1													
Fecha	Lugar	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
17-abr-13	EBAIS	<1	N.R.	7.49*	< 3*	< 0.1*	N.R.	N.R.	94.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
17-abr-13	Final de acueducto	<1	N.R.	7.52*	3*	< 0.1*	N.R.	N.R.	84.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
26-jul-13	Iglesia católica	<1	N.R.	6.42*	5*	0.92*	N.R.	N.R.	127.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
26-jul-13	Casa	<1	N.R.	6.42*	3*	0.65*	N.R.	N.R.	76.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
26-jul-13	Final de acueducto	<1	N.R.	6.56*	3*	0.45*	N.R.	N.R.	187.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
12-dic-13	Iglesia católica	<1	N.R.	7.42*	3*	0.19*	N.R.	N.R.	80.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
12-dic-13	Casa	<1	N.R.	7.37*	< 3*	0.29*	N.R.	N.R.	74.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
12-dic-13	Final de acueducto	<1	N.R.	7.32*	< 3*	0.32*	N.R.	N.R.	72.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-jun-14	EBAIS	<1	<1	6.81*	3*	0.17*	N.R.	N.R.	77.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-jun-14	Final de acueducto	<1	<1	6.87*	< 3*	0.12*	N.R.	N.R.	80.0*	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
10-nov-14	Casa Sr. Rafael Navarro	<1.1	<1.1	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
11-nov-14	Oficina ASADA	2.2	2.2	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-feb-15	Casa Sr. Alex	<1.1	<1.1	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
27-feb-15	CENCINAI	<1.1	<1.1	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA

Notas: Se identifica con **sombreado** los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor.

Continuación Cuadro A.7. 9

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1													
Fecha	Lugar	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) μ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
27-feb-15	Casa Flores Calderón	<1.1	<1.1	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	Realizado por la ASADA
12-may-15	Oficina ASADA	Positivo	Negativo	6.53	-	1.77	-	-	91.8	0.18	-	23.9	Precipitaciones durante el muestreo**
12-may-15	EBAIS	Negativo	Negativo	6.50	-	1.37	-	-	96.1	0.06	-	21.6	Precipitaciones durante el muestreo**
12-may-15	Final de red (310)	Negativo	Negativo	6.65	-	0.80	-	-	94.7	0.20	-	23.5	Precipitaciones durante el muestreo
28-jul-15	EBAIS	<1.1	<1.1	7*	3.3*	1.04*	Aceptable	Aceptable	63.0*	0.3*	< 0.02*	22*	Realizado por la ASADA
09-jun-15	Centro de carnes La Trinidad (N°10)	Positivo	Positivo	6.37	-	1.92	-	-	-	0.01	-	21.8	Sin equipo** para medir conductividad
09-jun-15	Tienda (N°523)	Positivo	Positivo	6.35	-	174.93	-	-	-	0.15	-	21.1	Sin equipo** para medir conductividad
09-jun-15	Oficina ASADA	Positivo	Positivo	6.60	-	2.66	-	-	-	0.05	-	21.8	Sin equipo** para medir conductividad
11-ago-15	Oficina ASADA	Negativo	Negativo	5.98	-	2.77	-	-	74.3	0.97	-	20.8	**
11-ago-15	CENCINAI	Negativo	Negativo	5.84	-	3.44	-	-	76.5	0.94	-	21.4	**
11-ago-15	San Isidro Dental	Negativo	Negativo	6.30	-	2.66	-	-	75.7	1.03	-	21.1	**
07-sep-15	Oficina ASADA	Negativo	Negativo	6.14	-	1.52	-	-	83.1	0.38	-	20.0	**

Notas: Se identifica con **sombreado** los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora

Continuación Cuadro A.7. 9

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA - PRIMER NIVEL DE CONTROL- N1													
Fecha	Lugar	Coliformes Totales (N.M.P / 100 mL)	E. Coli (N.M.P / 100 mL)	pH (± 0,05)	Color (mg/L Pt-Co)	Turbiedad (± 2%) U.N.T.	Olor	Sabor	Conductividad (± 0,01) µ.S/cm a 25°C	Cloro Residual Libre (± 0,03) mg/L	Cloro Residual Combinado (mg/L)	Temperatura (± 0,5 °C)	Observaciones
07-sep-15	Panadería El Manantial	Negativo	Negativo	5.95	-	1.06	-	-	83.0	0.34	-	19.2	**
07-sep-15	Casa	Negativo	Negativo	5.75	-	1.01	-	-	82.3	0.36	-	19.0	**
19-oct-15	Oficina ASADA	Positivo	Positivo	7.05	-	6.97	-	-	38.0	0.29	-	20.6	No se aplicaba desinfección por falta de acceso a las pastillas**
19-oct-15	Escuela	Positivo	Positivo	7.06	-	5.86	-	-	39.3	0.08	-	21.5	No se aplicaba desinfección por falta de acceso a las pastillas**
19-oct-15	Soda La Cafetería	Positivo	Positivo	7.08	-	6.54	-	-	39.5	0.02	-	21.3	No se aplicaba desinfección por falta de acceso a las pastillas**
11-nov-15	Oficina ASADA	1299.7	50.40	7.14	-	4.22	-	-	61.7	0.14	-	20.0	**
11-nov-15	Verdulería	1413.6	54.50	7.15	-	6.92	-	-	61.6	0.00	-	20.7	**
11-nov-15	Casa	1732.9	59.40	7.19	-	5.25	-	-	61.6	0.12	-	22.0	**

Notas: Se identifica con sombreado los valores que exceden lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

N.R.: Valores No Reportados. * Se desconoce la incertidumbre del valor. ** Muestreo realizado por la investigadora.

APÉNDICE 8. FRECUENCIA DE MUESTREO DE DIFERENTES NIVELES DE CONTROL PARA EL ACUEDUTO DE SAN ISIDRO

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015) establece diferentes niveles de control y parámetros de calidad para cada uno de estos. La frecuencia en que la ASADA debe realizar estos análisis depende de la cantidad de población abastecida, por lo cual se resume en el Cuadro A.8. 2 la frecuencia de acuerdo a los tipos de niveles de control que requiere implementar la ASADA.

El reglamento establece cinco diferentes niveles de control que se describen a continuación, los parámetros que incluyen cada nivel se enuncian en el Cuadro A.8. 1:

- Control Operativo (CO): busca un monitoreo permanente y sistemático de la calidad del agua distribuida, para llevar el control de la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento o mezcla de todas las fuentes y en la red de distribución. Para esto el acueducto requiere de equipo de laboratorio básico y capacitación para la medición de los parámetros, además de realizar un adecuado registro en bitácoras.
- Nivel primero (N1): es parte del programa de control básico y evalúa la operación y mantenimiento desde la fuente hasta la distribución.
- Nivel segundo (N2): corresponde al programa de control ampliado para valorar la operación y mantenimiento en las fuentes de abastecimiento y red de distribución.
- Nivel tercero (N3): corresponde al programa de control avanzado, igualmente evalúa la operación y mantenimiento en las fuentes de abastecimiento y red de distribución.
- Nivel cuarto (N4): es efectuado durante situaciones especiales, de emergencia o cuando el Ministerio de Salud de Costa Rica (MS) lo solicita.

Además el reglamento implementa la creación de una línea base de calidad, que incluye los niveles N2 y N3 para las fuentes de abasto y red de distribución, a partir de esta se debe cumplir la frecuencia de muestreo descrita en el Cuadro A.8. 2, esta frecuencia depende de la cantidad de población abastecida por el acueducto.

Cuadro A.8. 1. Parámetros Fisicoquímicos y microbiológicos para los cinco niveles de control establecidos en el reglamento N° 38924-S (2015)

Control operativo (CO)	Nivel primero (N1)	Nivel segundo (N2)	Nivel tercero (N3)	Nivel cuarto (N4)
Turbiedad	Color aparente	Aluminio	Amonio	Plaguicidas
Olor	Turbiedad	Calcio	Antimonio	Sustancias orgánicas
Sabor	Olor	Cloruro	Arsénico	Otros parámetros físicos e inorgánicos
pH	Sabor	Cobre	Cadmio	Desinfectantes y subproductos de la desinfección
Cloro residual libre	Temperatura	Dureza Total	Cianuro	Microorganismos
	pH	Fluoruro	Cromo	
	Conductividad	Hierro	Mercurio	
	Cloro residual libre	Magnesio	Níquel	
	Cloro residual combinado	Manganeso	Nitrato	
	Coliformes fecales	Nitrato	Nitrito	
	E. Coli	Plomo	Plomo	
		Potasio	Selenio	
		Sodio (Na ⁺)		
		Sulfato (SO ₄ ⁻²)		
		Zinc (Zn)		

Elaborado a partir del Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).

Para determinar la frecuencia de los análisis descrita en el Cuadro A.8. 2, se consideró una población abastecida mayor a los 2 000 habitantes y menor de 5 000.

Cuadro A.8. 2. Frecuencia de muestreos para el control de la calidad del agua para el acueducto de San Isidro

Nivel de control	Fuentes de abastecimiento		Tanque de reunión		Tanque de almacenamiento		Red de distribución		Total de muestras
	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras	
CO	Quincenal	1 c/fuente	Quincenal	1 c/tanque	N. A.	N.A.	Quincenal	1	156 c/año
N1	Semestral	1 c/fuente	N. A.	N.A.	Semestral	1 c/tanque	Semestral	3	16 c/año
N2*	Cada 3 años	1 c/fuente	Cada 3 años	1 c/tanque	N. A.	N.A.	Cada 3 años	1	6 c/ 3 años
N3*	Cada 3 años	1 c/fuente	Cada 3 años	1 c/tanque	N. A.	N.A.	Cada 3 años	1	6 c/ 3 años
N4	Cuando la inspección sanitaria indique un factor de riesgo.								

Elaborado a partir del Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015). Notas: *Esta frecuencia se aplica después de tener el perfil de calidad. N.A.: no aplica.

**APÉNDICE 9. REGISTRO DE CONSUMO MENSUAL DE AGUA POTABLE
PARA LOS AÑOS 2014 Y 2015**

Cuadro A.9. 1. Registro de consumo y cantidad de abonados mensual durante el año 2014

Mes	Consumo (m ³ /mes)			Cantidad de abonados		
	DOMIPRE	EMPREGO	Total	DOMIPRE	EMPREGO	Total
Julio	12 614	1 906	14 520	493	69	562
Agosto	11 641	1 900	13 541	493	69	562
Setiembre	11 562	2 046	13 608	493	69	562
Octubre	12 412	1 722	14 134	493	69	562
Noviembre	10 325	1 439	11 764	493	69	562
Diciembre	10 980	1 778	12 758	493	69	562
Total	69 534	10 791	80 325	-	-	-
Promedio	11 589	1 799	13 388	493	69	562
σ	860	209	994	-	-	-

Cuadro A.9. 2. Registro de consumo y cantidad de abonados mensual durante el año 2015

Mes	Consumo (m ³ /mes)			Cantidad de abonados		
	DOMIPRE	EMPREGO	Total	DOMIPRE	EMPREGO	Total
Enero	12 283	1 806	14 089	491	70	561
Febrero	10 254	2 014	12 268	491	70	561
Marzo	11 048	2 200	13 248	492	72	564
Abril	12 941	1 843	14 784	492	72	564
Mayo	11 678	2 127	13 805	492	72	564
Junio	11 454	2 289	13 743	492	72	564
Julio	12 685	2 560	15 245	492	72	564
Agosto	10 663	2 318	12 981	493	72	565
Setiembre	12 366	2 685	15 051	493	72	565
Octubre	12 228	2 157	14 385	493	72	565
Noviembre	11 468	2 120	13 588	495	72	567
Diciembre	11 398	1 848	13 246	495	72	567
Total	140 466	25 967	166 433	-	-	-
Promedio	11 706	2 164	13 639	493	72	564
σ	819	274	888	-	-	-

APÉNDICE 10. REGISTRO DE AFORO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Cuadro A.10. 1. Registro de aforo realizado a la entrada del tanque de almacenamiento del acueducto

Fecha:	6-ago-15
Volumen (L):	172
Medición	Tiempo (s):
1	10,56
2	11,91
3	11,32
4	11,12
5	11,32
6	11,02
7	10,64
Promedio (s):	11,13
Caudal (L/s)	15,46
Desviación Estándar	0,63

Condiciones de los sitios posibles para realizar el aforo:

Entrada de agua en el tanque estabilizador:



Entrada al tanque de almacenamiento:



Figura A.10. 1. Registro fotográficos de los sitios posibles para realizar el aforo en la planta de tratamiento.

**APÉNDICE 11. PROYECCIÓN POBLACIONAL PARA LA COMUNIDAD DE
SAN ISIDRO DE EL GUARCO 2015-2035**

Cuadro A.11. 1. Resultados de la proyección de población para la comunidad de San Isidro de El Guarco empleando diferentes método matemáticos.

Año a proyectar	Método lineal o aritmético		Método geométrico	Método logarítmico	Promedio:
	Pf	Tasa de crecimiento	Pf	Pf	
2015	2436	-	2537	3978	3258
2016	2507	2,9%	2645	4147	3396
2017	2579	2,9%	2757	4323	3540
2018	2650	2,8%	2874	4506	3690
2019	2722	2,7%	2996	4697	3846
2020	2794	2,6%	3123	4896	4009
2021	2865	2,6%	3255	5104	4179
2022	2937	2,5%	3393	5320	4357
2023	3009	2,4%	3537	5546	4541
2024	3080	2,4%	3687	5781	4734
2025	3152	2,3%	3843	6026	4935
2026	3224	2,3%	4006	6281	5144
2027	3295	2,2%	4176	6548	5362
2028	3367	2,2%	4353	6825	5589
2029	3438	2,1%	4538	7115	5826
2030	3510	2,1%	4730	7416	6073
2031	3582	2,0%	4931	7731	6331
2032	3653	2,0%	5140	8058	6599
2033	3725	2,0%	5358	8400	6879
2034	3797	1,9%	5585	8756	7171
2035	3868	1,9%	5822	7475	7475
Tasa de crecimiento anual:			4,2%	4,2%	-

Elaborado a partir de información demográfica del INEC para la comunidad de San Isidro

APÉNDICE 12. FICHAS DE CAMPO SERSA APLICADAS A LOS COMPONENTES DEL ACUEDUCTO

Cuadro A.12. 1. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la captación Lobo N°1 (antigua)

Ficha de Campo 1		
<u>Toma de agua superficial (Río, quebrada, otro)</u>		
I. Información General		
Fecha: <u>28 de febrero de 2015</u>		
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>		
Nombre de la captación: <u>Lobo N°1 (antigua)</u>		
Número de registro en MINAE:		
Funcionario del acueducto: <u>Gerardo Cerdas Montoya</u>		
Teléfono: <u>8826-0478</u>		
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>		
Frecuencia de limpieza:		
Diario ()	Semanal (<input checked="" type="checkbox"/>)	Mensual ()
Otro () Especificar:		
II. Diagnóstico de la Infraestructura		
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SÍ	NO
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 o malla de protección?	X	
4. ¿Existe actividad agrícola, ganadera, industrial o desarrollo habitacional, que descarguen sus residuos aguas arriba de la captación de agua?		X
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (tanques sépticos, animales, viviendas, basura o actividad industrial)?	X	
6. ¿Tienen las personas y animales acceso a la captación del río?	X	
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X	
8. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas y otros) obstruyendo las rejillas de la toma?	X	
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma?		X
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X	
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de “sí”)	7	
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)		Alto

Cuadro A.12. 2. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la captación Lobo N°2

Ficha de Campo 1	
<u>Toma de agua superficial (Río, quebrada, otro)</u>	
I. Información General	
Fecha: <u>28 de febrero de 2015</u>	
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>	
Nombre de la captación: <u>Lobo N°2</u>	
Número de registro en MINAE:	
Funcionario del acueducto: <u>Gerardo Cerdas Montoya</u>	
Teléfono: <u>8826-0478</u>	
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>	
Frecuencia de limpieza:	
Diario ()	Semanal (X)
Mensual ()	Nunca ()
Otro () Especificar:	
II. Diagnóstico de la Infraestructura	
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SÍ NO
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 o malla de protección?	X
4. ¿Existe actividad agrícola, ganadera, industrial o desarrollo habitacional, que descarguen sus residuos aguas arriba de la captación de agua?	X
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (tanques sépticos, animales, viviendas, basura o actividad industrial)?	X
6. ¿Tienen las personas y animales acceso a la captación del río?	X
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X
8. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas y otros) obstruyendo las rejillas de la toma?	X
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma?	X
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "sí")	7
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)	Alto

Cuadro A.12. 3. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la captación Lobo N°1 (nueva)

Ficha de Campo 1	
<u>Toma de agua superficial (Río, quebrada, otro)</u>	
I. Información General	
Fecha: <u>28 de febrero de 2015</u>	
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>	
Nombre de la captación: <u>Lobo N°1 (nueva)</u>	
Número de registro en MINAE:	
Funcionario del acueducto: <u>Gerardo Cerdas Montoya</u>	
Teléfono: <u>8826-0478</u>	
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>	
Frecuencia de limpieza:	
Diario ()	Semanal (X)
	Mensual ()
	Nunca ()
Otro () Especificar:	
II. Diagnóstico de la Infraestructura	
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SÍ NO
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 o malla de protección?	X
4. ¿Existe actividad agrícola, ganadera, industrial o desarrollo habitacional, que descarguen sus residuos aguas arriba de la captación de agua?	X
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (tanques sépticos, animales, viviendas, basura o actividad industrial)?	X
6. ¿Tienen las personas y animales acceso a la captación del río?	X
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X
8. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas y otros) obstruyendo las rejillas de la toma?	X
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma?	X
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "sí")	5
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)	Alto

Cuadro A.12. 4. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la captación Casa Blanca N°2

Ficha de Campo 1	
<u>Toma de agua superficial (Río, quebrada, otro)</u>	
I. Información General	
Fecha: <u>28 de febrero de 2015</u>	
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>	
Nombre de la captación: <u>Casa Blanca N°2</u>	
Número de registro en MINAE:	
Funcionario del acueducto: <u>Gerardo Cerdas Montoya</u>	
Teléfono: <u>8826-0478</u>	
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>	
Frecuencia de limpieza:	
Diario ()	Semanal (X)
Mensual ()	Nunca ()
Otro () Especificar:	
II. Diagnóstico de la Infraestructura	
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SÍ NO
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 o malla de protección?	X
4. ¿Existe actividad agrícola, ganadera, industrial o desarrollo habitacional, que descarguen sus residuos aguas arriba de la captación de agua?	X
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (tanques sépticos, animales, viviendas, basura o actividad industrial)?	X
6. ¿Tienen las personas y animales acceso a la captación del río?	X
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X
8. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas y otros) obstruyendo las rejillas de la toma?	X
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma?	X
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "sí")	7
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)	Alto

Cuadro A.12. 5. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la captación Casa Blanca N°1

Ficha de Campo 2		
<u>Captación de naciente o manantiales</u>		
I. Información General		
Fecha: <u>15 de diciembre de 2015</u>		
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>		
Nombre de la naciente o manantial: <u>Naciente Casa Blanca N°1</u>		
Número de registro en MINAE:		
Funcionario del acueducto: <u>Adonay</u>		
Teléfono: <u>8826-0478</u>		
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>		
Tipo de captación:		
Caseta ()	A nivel ()	
Enterrada (X)	Semi-enterrada ()	
II. Diagnóstico de la Infraestructura		
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua de una naciente	SÍ	NO
1. ¿Está la naciente sin malla de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación?	X	
2. ¿Está la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tanque de captación).		X
3. ¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias y con cierre seguro (candado, tornillo u otro)?		X
4. ¿Están las paredes y la losa superior de la captación con grietas?		X
5. ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía?	X	
6. ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección?		X
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?		X
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación?		X
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura)		X
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?		X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de “sí”)	2	
Nivel de riesgo identificado(Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)		Bajo

Cuadro A.12. 6. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la captación El Gringo

Ficha de Campo 2		
<u>Captación de naciente o manantiales</u>		
I. Información General		
Fecha: _____		
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>		
Nombre de la naciente o manantial: <u>Naciente El Gringo</u>		
Número de registro en MINAE:		
Funcionario del acueducto: <u>Adonay</u>		
Teléfono: <u>8826-0478</u>		
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>		
Tipo de captación:		
Caseta ()	A nivel ()	
Enterrada (X)	Semi-enterrada ()	
II. Diagnóstico de la Infraestructura		
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua de una naciente	SÍ	NO
1. ¿Está la naciente sin malla de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación?	X	
2. ¿Está la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tanque de captación).	X	
3. ¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias y con cierre seguro (candado, tornillo u otro)?	X	
4. ¿Están las paredes y la losa superior de la captación con grietas?		X
5. ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía?	X	
6. ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección?	X	
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?	X	
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación?	X	
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura)	X	
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?		X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de “sí”)	8	
Nivel de riesgo identificado(Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)		Muy alto

Cuadro A.12. 7. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en el tanque de reunión

Ficha de Campo 4		
<u>Tanques de almacenamiento</u>		
I. Información General		
Fecha: <u>Varias visitas</u>		
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>		
Nombre del tanque de almacenamiento: <u>Tanque de reunión</u>		
Número de registro en MINAE:		
Funcionario del acueducto: <u>Adonay</u>		
Teléfono: <u>8826-0478</u>		
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>		
Tipo de tanque:		
Elevado ()	A nivel ()	
Enterrado ()	Semi-enterrado (X)	
Material del tanque:		
Concreto (X)	Plástico ()	
Metálico ()		
Frecuencia de limpieza:		
Anual ()	Semestral ()	
Trimestral ()	Mensual (X)	
Otra ():	No se sabe/Nunca ()	

II. Diagnóstico de la Infraestructura		
Identificación de factores de riesgo en un tanque de almacenamiento	SÍ	NO
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)?	X	
2. ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias?		X
3. ¿Carece de borde de cemento alrededor del tanque (menor a 1 metro) y la estructura externa de mantenimiento? (Pintura, limpieza: libre de hojas, musgo, ramas, otros)	X	
4. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (crítica)	*	*
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas?		X
6. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?	X	
7. ¿Está ausente o defectuosa la malla 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?	X	
10. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial)	X	
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de “sí”)	6	
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)		Alto

Cuadro A.12. 8. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en el tanque de almacenamiento principal

Ficha de Campo 4	
<u>Tanques de almacenamiento</u>	
I. Información General	
Fecha: <u>Varias visitas</u>	
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>	
Nombre del tanque de almacenamiento: <u>Tanque de almacenamiento principal</u>	
Número de registro en MINAE:	
Funcionario del acueducto: <u>Adonay</u>	
Teléfono: <u>8826-0478</u>	
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>	
Tipo de tanque:	
Elevado ()	A nivel ()
Enterrado ()	Semi-enterrado (X)
Material del tanque:	
Concreto (X)	Plástico ()
Metálico ()	
Frecuencia de limpieza:	
Anual ()	Semestral ()
Trimestral ()	Mensual (X)
Otra ():	No se sabe/Nunca ()

II. Diagnóstico de la Infraestructura	
Identificación de factores de riesgo en un tanque de almacenamiento	SÍ NO
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)?	X
2. ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias?	X
3. ¿Carece de borde de cemento alrededor del tanque (menor a 1 metro) y la estructura externa de mantenimiento? (Pintura, limpieza: libre de hojas, musgo, ramas, otros)	X
4. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (crítica)	X
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas?	X
6. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?	X
7. ¿Está ausente o defectuosa la malla 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?	X
10. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial)	X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de “sí”)	4
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)	Intermedio

Cuadro A.12. 9. Ficha de campo SERSA para identificar factores de riesgo en la conducción y red de distribución

Ficha de Campo 5		
<u>Línea de conducción y sistema de distribución</u>		
I. Información General		
Fecha: <u>Varias visitas</u>		
Nombre del acueducto: <u>ASADA San Isidro de El Guarco</u>		
Número de registro en MINAE:		
Funcionario del acueducto: <u>Adonay</u>		
Teléfono: <u>8826-0478</u>		
Nombre del funcionario del Ministerio de Salud: <u>No aplica</u>		
Número de reparaciones por fugas por mes: <u>No se presentan registros</u>		
Material de las líneas de conducción:		
PVC (<input checked="" type="checkbox"/>)	Hierro galvanizado (<input type="checkbox"/>)	Asbesto (<input type="checkbox"/>) Otros (<input type="checkbox"/>): _____
Material de la tubería de distribución:		
PVC (<input checked="" type="checkbox"/>)	Hierro galvanizado (<input type="checkbox"/>)	Mixto (<input type="checkbox"/>) Otros (<input type="checkbox"/>): _____
II. Diagnóstico de la Infraestructura		
Identificación de factores de riesgo en un tanque de almacenamiento	SÍ	NO
1. ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción?		X
2. ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias?		X
3. En los tanques quiebra gradientes ¿se observan rajaduras, grietas, fugas o raíces?	X	
4. ¿Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución?	X	
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?		X
6. ¿Carece de cloro residual alguna zona en la red principal de distribución?	X	
7. ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua?		X
8. ¿Carecen de sistema para purgar la tubería de distribución?		X
9. ¿Carecen de un fontanero o encargado del mantenimiento de la red?		X
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?		X
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "sí")	3	
Nivel de riesgo identificado (Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10)	Intermedio	

APÉNDICE 13. REGISTRO DE CONCENTRACIONES DE CLORO RESIDUAL

Cuadro A.13. 1. Registro de concentraciones de cloro residual medidas en la red de distribución del acueducto.

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
03-jun-13	0,4	Desconocida	09-sep-13	0,4	Desconocida
04-jun-13	0,4	Desconocida	10-sep-13	0,3	Desconocida
05-jun-13	0,5	Desconocida	11-sep-13	0,4	Desconocida
06-jun-13	0,3	Desconocida	12-sep-13	0,5	Desconocida
07-jun-13	0,5	Desconocida	13-sep-13	0,3	Desconocida
08-jun-13	0,3	Desconocida	14-sep-13	0,4	Desconocida
10-jun-13	0,5	Desconocida	16-sep-13	0,3	Desconocida
11-jun-13	0,4	Desconocida	19-sep-13	0,3	Desconocida
12-jun-13	0,3	Desconocida	20-sep-13	0,4	Desconocida
13-jun-13	0,3	Desconocida	21-sep-13	0,3	Desconocida
14-jun-13	0,4	Desconocida	24-sep-13	0,4	Desconocida
15-jun-13	0,3	Desconocida	25-sep-13	0,5	Desconocida
17-jun-13	0,3	Desconocida	26-sep-13	0,3	Desconocida
18-jun-13	0,3	Desconocida	27-sep-13	0,4	Desconocida
19-jun-13	0,4	Desconocida	28-sep-13	0,4	Desconocida
20-jun-13	0,5	Desconocida	30-sep-13	0,4	Desconocida
21-jun-13	0,4	Desconocida	01-oct-13	0,4	Desconocida
22-jun-13	0,4	Desconocida	02-oct-13	0,4	Desconocida
24-jun-13	0,3	Desconocida	03-oct-13	0	Desconocida
25-jun-13	0,4	Desconocida	04-oct-13	0,5	Desconocida
26-jun-13	0,3	Desconocida	05-oct-13	0,4	Desconocida
27-jun-13	0,4	Desconocida	07-oct-13	0,4	Desconocida
28-jun-13	0,3	Desconocida	08-oct-13	0,3	Desconocida
29-jun-13	0,3	Desconocida	09-oct-13	0,6	Desconocida
05-ago-13	0,3	Desconocida	10-oct-13	0,4	Desconocida
06-ago-13	0,3	Desconocida	11-oct-13	0,6	Desconocida
07-ago-13	0,3	Desconocida	12-oct-13	0,4	Desconocida
08-ago-13	0,4	Desconocida	14-oct-13	0,4	Desconocida
09-ago-13	0,3	Desconocida	15-oct-13	0,5	Desconocida
10-ago-13	0,3	Desconocida	16-oct-13	0	Desconocida
12-ago-13	0,5	Desconocida	17-oct-13	0,5	Desconocida
13-ago-13	0,3	Desconocida	18-oct-13	0,4	Desconocida
14-ago-13	0,3	Desconocida	19-oct-13	0,4	Desconocida
15-ago-13	0,4	Desconocida	21-oct-13	0	Desconocida
16-ago-13	0,4	Desconocida	22-oct-13	0,3	Desconocida
17-ago-13	0,3	Desconocida	23-oct-13	0,4	Desconocida
19-ago-13	0,3	Desconocida	24-oct-13	0,6	Desconocida
20-ago-13	0,4	Desconocida	25-oct-13	0,3	Desconocida
21-ago-13	0,3	Desconocida	26-oct-13	0,5	Desconocida
22-ago-13	0,3	Desconocida	28-oct-13	0,3	Desconocida
23-ago-13	0,4	Desconocida	29-oct-13	0,4	Desconocida
24-ago-13	0,4	Desconocida	30-oct-13	0,4	Desconocida
26-ago-13	0,4	Desconocida	31-oct-13	0,3	Desconocida
27-ago-13	0,3	Desconocida	01-nov-13	0,4	Desconocida
28-ago-13	0,3	Desconocida	02-nov-13	0,3	Desconocida
29-ago-13	0,4	Desconocida	04-nov-13	0,4	Desconocida
30-ago-13	0,4	Desconocida	05-nov-13	0,5	Desconocida
31-ago-13	0,4	Desconocida	06-nov-13	0,5	Desconocida
02-sep-13	0,5	Desconocida	07-nov-13	0,4	Desconocida
03-sep-13	0,3	Desconocida	08-nov-13	0,5	Desconocida
04-sep-13	0,4	Desconocida	09-nov-13	0,5	Desconocida
05-sep-13	0,5	Desconocida	18-nov-13	0,5	Desconocida
06-sep-13	0,4	Desconocida	19-nov-13	0,6	Desconocida
07-sep-13	0,4	Desconocida	20-nov-13	0,5	Desconocida

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
21-nov-13	0,5	Desconocida	18-ene-14	0,4	Desconocida
22-nov-13	0,5	Desconocida	20-ene-14	0,3	Desconocida
23-nov-13	0,5	Desconocida	21-ene-14	0,5	Desconocida
25-nov-13	0,4	Desconocida	22-ene-14	0,4	Desconocida
26-nov-13	0,5	Desconocida	23-ene-14	0,6	Desconocida
27-nov-13	0,5	Desconocida	27-ene-14	0,4	Desconocida
28-nov-13	0,5	Desconocida	28-ene-14	0,3	Desconocida
29-nov-13	0,3	Desconocida	29-ene-14	0,6	Desconocida
30-nov-13	0,4	Desconocida	30-ene-14	0,5	Desconocida
02-dic-13	0,4	Desconocida	31-ene-14	0,5	Desconocida
03-dic-13	0,5	Desconocida	01-feb-14	0,4	Desconocida
04-dic-13	0,4	Desconocida	03-feb-14	0,4	Desconocida
05-dic-13	0,4	Desconocida	04-feb-14	0,5	Desconocida
06-dic-13	0,5	Desconocida	05-feb-14	0,5	Desconocida
07-dic-13	0,6	Desconocida	06-feb-14	0,5	Desconocida
09-dic-13	0,4	Desconocida	07-feb-14	0,5	Desconocida
10-dic-13	0,3	Desconocida	08-feb-14	0,4	Desconocida
11-dic-13	0,5	Desconocida	10-feb-14	0,4	Desconocida
12-dic-13	0,4	Desconocida	11-feb-14	0,5	Desconocida
13-dic-13	0,4	Desconocida	14-feb-14	0,5	Desconocida
14-dic-13	0,4	Desconocida	15-feb-14	0,5	Desconocida
16-dic-13	0,5	Desconocida	17-feb-14	0,4	Desconocida
17-dic-13	0,5	Desconocida	20-feb-14	0,5	Desconocida
18-dic-13	0,4	Desconocida	24-feb-14	0,5	Desconocida
19-dic-13	0,4	Desconocida	10-mar-14	0,5	Desconocida
20-dic-13	0,4	Desconocida	11-mar-14	0,5	Desconocida
21-dic-13	0,5	Desconocida	12-mar-14	0,4	Desconocida
23-dic-13	0,4	Desconocida	13-mar-14	0,5	Desconocida
24-dic-13	0,5	Desconocida	14-mar-14	0,4	Desconocida
26-dic-13	0,4	Desconocida	15-mar-14	0,5	Desconocida
27-dic-13	0,5	Desconocida	17-mar-14	0,5	Desconocida
28-dic-13	0,4	Desconocida	18-mar-14	0,5	Desconocida
30-dic-13	0,4	Desconocida	19-mar-14	0,5	Desconocida
31-dic-13	0,5	Desconocida	20-mar-14	0,3	Desconocida
02-ene-14	0,4	Desconocida	21-mar-14	0,4	Desconocida
03-ene-14	0,4	Desconocida	22-mar-14	0,5	Desconocida
04-ene-14	0,5	Desconocida	24-mar-14	0,4	Desconocida
06-ene-14	0,4	Desconocida	25-mar-14	0,5	Desconocida
07-ene-14	0,6	Desconocida	28-mar-14	0,4	Desconocida
08-ene-14	0,5	Desconocida	31-mar-14	0,5	Desconocida
09-ene-14	0,4	Desconocida	01-abr-14	0,5	Desconocida
10-ene-14	0,4	Desconocida	02-abr-14	0,6	Desconocida
11-ene-14	0,5	Desconocida	03-abr-14	0,6	Desconocida
13-ene-14	0,4	Desconocida	04-abr-14	0,5	Desconocida
14-ene-14	0,4	Desconocida	05-abr-14	0,5	Desconocida
15-ene-14	0,6	Desconocida	07-abr-14	0,6	Desconocida
16-ene-14	0,5	Desconocida	08-abr-14	0,5	Desconocida
17-ene-14	0,4	Desconocida	09-abr-14	0,5	Desconocida

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
10-abr-14	0,5	Desconocida	20-jun-14	0,5	Desconocida
11-abr-14	0,6	Desconocida	21-jun-14	0,5	Desconocida
12-abr-14	0,6	Desconocida	23-jun-14	0,5	Desconocida
14-abr-14	0,5	Desconocida	24-jun-14	0,4	Desconocida
15-abr-14	0,5	Desconocida	25-jun-14	0,5	Desconocida
16-abr-14	0,6	Desconocida	26-jun-14	0,5	Desconocida
19-abr-14	0,4	Desconocida	27-jun-14	0,5	Desconocida
28-abr-14	0,4	Desconocida	28-jun-14	0,5	Desconocida
29-abr-14	0,5	Desconocida	30-jun-14	0,4	Desconocida
30-abr-14	0,5	Desconocida	01-jul-14	0,5	Desconocida
02-may-14	0,5	Desconocida	02-jul-14	0,6	Desconocida
03-may-14	0,5	Desconocida	03-jul-14	0,5	Desconocida
05-may-14	0,5	Desconocida	04-jul-14	0,5	Desconocida
06-may-14	0,5	Desconocida	05-jul-14	0,3	Desconocida
07-may-14	0,5	Desconocida	07-jul-14	0,5	Desconocida
08-may-14	0,5	Desconocida	08-jul-14	0,5	Desconocida
09-may-14	0,5	Desconocida	09-jul-14	0,5	Desconocida
10-may-14	0,5	Desconocida	10-jul-14	0,5	Desconocida
12-may-14	0,5	Desconocida	11-jul-14	0,5	Desconocida
13-may-14	0,5	Desconocida	12-jul-14	0,6	Desconocida
14-may-14	0,5	Desconocida	14-jul-14	0,5	Desconocida
15-may-14	0,5	Desconocida	15-jul-14	0,6	Desconocida
16-may-14	0,5	Desconocida	16-jul-14	0,7	Desconocida
17-may-14	0,5	Desconocida	17-jul-14	0,17	Desconocida
19-may-14	0,5	Desconocida	18-jul-14	0	Desconocida
20-may-14	0,4	Desconocida	19-jul-14	0,14	Desconocida
21-may-14	0,5	Desconocida	21-jul-14	0,6	Desconocida
22-may-14	0,5	Desconocida	22-jul-14	0,7	Desconocida
23-may-14	0,5	Desconocida	23-jul-14	0,8	Desconocida
24-may-14	0,5	Desconocida	24-jul-14	0,9	Desconocida
26-may-14	0,5	Desconocida	25-jul-14	0,5	Desconocida
27-may-14	0,4	Desconocida	26-jul-14	0,8	Desconocida
28-may-14	0,6	Desconocida	28-jul-14	0,5	Desconocida
29-may-14	0,6	Desconocida	29-jul-14	0,7	Desconocida
30-may-14	0,5	Desconocida	30-jul-14	0,6	Desconocida
31-may-14	0,5	Desconocida	31-jul-14	0,5	Desconocida
02-jun-14	0,5	Desconocida	01-ago-14	0,8	Desconocida
03-jun-14	0,5	Desconocida	02-ago-14	0,3	Desconocida
04-jun-14	0,4	Desconocida	04-ago-14	0,8	Desconocida
05-jun-14	0,5	Desconocida	05-ago-14	0,6	Desconocida
06-jun-14	0,5	Desconocida	06-ago-14	0,4	Desconocida
07-jun-14	0,5	Desconocida	07-ago-14	0,4	Desconocida
09-jun-14	0,5	Desconocida	08-ago-14	0,03	Desconocida
10-jun-14	0,5	Desconocida	09-ago-14	0	Desconocida
11-jun-14	0,5	Desconocida	11-ago-14	0,4	Desconocida
12-jun-14	0,5	Desconocida	12-ago-14	0,6	Desconocida
13-jun-14	0,6	Desconocida	13-ago-14	0,7	Desconocida
14-jun-14	0,5	Desconocida	14-ago-14	0,5	Desconocida
16-jun-14	0,4	Desconocida	16-ago-14	0,4	Desconocida
18-jun-14	0,5	Desconocida	18-ago-14	0,4	Desconocida
19-jun-14	0,5	Desconocida	19-ago-14	0,5	Desconocida

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
20-ago-14	0,6	Desconocida	22-oct-14	0,3	Desconocida
21-ago-14	0,5	Desconocida	23-oct-14	0,6	Desconocida
22-ago-14	0,2	Desconocida	24-oct-14	0,4	Desconocida
23-ago-14	0,5	Desconocida	27-oct-14	0,7	Desconocida
25-ago-14	0,2	Desconocida	28-oct-14	0,7	Desconocida
26-ago-14	0,3	Desconocida	29-oct-14	0,7	Desconocida
27-ago-14	0,3	Desconocida	30-oct-14	0,5	Desconocida
28-ago-14	0,4	Desconocida	31-oct-14	0,4	Desconocida
29-ago-14	0,6	Desconocida	01-nov-14	0,3	Desconocida
30-ago-14	0,6	Desconocida	03-nov-14	0,5	Desconocida
01-sep-14	0,3	Desconocida	04-nov-14	0,1	Desconocida
02-sep-14	0,7	Desconocida	05-nov-14	0,6	Desconocida
03-sep-14	0,5	Desconocida	06-nov-14	0,8	Desconocida
04-sep-14	0,4	Desconocida	07-nov-14	0,5	Desconocida
05-sep-14	0,2	Desconocida	08-nov-14	0,4	Desconocida
06-sep-14	0,3	Desconocida	10-nov-14	0,4	Desconocida
08-sep-14	0,2	Desconocida	11-nov-14	0,4	Desconocida
09-sep-14	0,2	Desconocida	12-nov-14	0,5	Desconocida
10-sep-14	0,6	Desconocida	13-nov-14	0,6	Desconocida
11-sep-14	0,7	Desconocida	14-nov-14	0,8	Desconocida
12-sep-14	0,6	Desconocida	15-nov-14	0,2	Desconocida
13-sep-14	0,4	Desconocida	17-nov-14	0,5	Desconocida
16-sep-14	0,3	Desconocida	18-nov-14	0,6	Desconocida
17-sep-14	0,3	Desconocida	19-nov-14	0,5	Desconocida
18-sep-14	0,6	Desconocida	20-nov-14	0,6	Desconocida
19-sep-14	0,5	Desconocida	21-nov-14	0,2	Desconocida
20-sep-14	0,3	Desconocida	22-nov-14	0,11	Desconocida
22-sep-14	0,4	Desconocida	24-nov-14	0,7	Desconocida
23-sep-14	0,5	Desconocida	25-nov-14	0,8	Desconocida
24-sep-14	0,7	Desconocida	26-nov-14	0,11	Desconocida
25-sep-14	0,4	Desconocida	27-nov-14	0,6	Desconocida
26-sep-14	0,7	Desconocida	28-nov-14	0,8	Desconocida
29-sep-14	0,5	Desconocida	29-nov-14	0,5	Desconocida
30-sep-14	0,8	Desconocida	01-dic-14	0,2	Desconocida
01-oct-14	0,4	Desconocida	02-dic-14	0,4	Desconocida
02-oct-14	0,3	Desconocida	03-dic-14	0,5	Desconocida
03-oct-14	0,3	Desconocida	04-dic-14	0,4	Desconocida
04-oct-14	0,3	Desconocida	05-dic-14	0,6	Desconocida
06-oct-14	0,4	Desconocida	06-dic-14	0,3	Desconocida
07-oct-14	0,2	Desconocida	08-dic-14	0,4	Desconocida
08-oct-14	0,6	Desconocida	09-dic-14	0,5	Desconocida
09-oct-14	0,4	Desconocida	10-dic-14	0,5	Desconocida
10-oct-14	0,4	Desconocida	11-dic-14	0,4	Desconocida
11-oct-14	0,2	Desconocida	12-dic-14	0,3	Desconocida
13-oct-14	0,5	Desconocida	13-dic-14	0,4	Desconocida
14-oct-14	0,4	Desconocida	15-dic-14	0,4	Desconocida
15-oct-14	0,7	Desconocida	16-dic-14	0,3	Desconocida
16-oct-14	0,6	Desconocida	17-dic-14	0,5	Desconocida
17-oct-14	0,17	Desconocida	18-dic-14	0,3	Desconocida
18-oct-14	0,14	Desconocida	19-dic-14	0,3	Desconocida
20-oct-14	0,3	Desconocida	20-dic-14	0,4	Desconocida
21-oct-14	0,14	Desconocida	22-dic-14	0,3	Desconocida

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
23-dic-14	0,2	Desconocida	23-feb-15	0,4	Desconocida
24-dic-14	0,5	Desconocida	24-feb-15	0,3	Desconocida
26-dic-14	0,4	Desconocida	25-feb-15	0,3	Desconocida
27-dic-14	0,5	Desconocida	26-feb-15	0,3	Desconocida
29-dic-14	0,7	Desconocida	27-feb-15	0,5	Desconocida
30-dic-14	0,5	Desconocida	28-feb-15	0,3	Desconocida
31-dic-14	0,2	Desconocida	02-mar-15	0,2	Desconocida
02-ene-15	0,4	Desconocida	03-mar-15	0,6	Desconocida
03-ene-15	0,3	Desconocida	04-mar-15	0,7	Desconocida
05-ene-15	0,3	Desconocida	05-mar-15	0,4	Desconocida
06-ene-15	0,4	Desconocida	06-mar-15	0,5	Desconocida
07-ene-15	0,5	Desconocida	07-mar-15	0,3	Desconocida
08-ene-15	0,4	Desconocida	09-mar-15	0,3	Desconocida
09-ene-15	0,6	Desconocida	10-mar-15	0,3	Desconocida
10-ene-15	0,4	Desconocida	11-mar-15	0,4	Desconocida
12-ene-15	0,3	Desconocida	12-mar-15	0,2	Desconocida
13-ene-15	0,5	Desconocida	13-mar-15	0,4	Desconocida
14-ene-15	0,7	Desconocida	14-mar-15	0,3	Desconocida
15-ene-15	0,7	Desconocida	16-mar-15	0,3	Desconocida
16-ene-15	0,4	Desconocida	17-mar-15	0,4	Desconocida
17-ene-15	0,6	Desconocida	18-mar-15	0,5	Desconocida
19-ene-15	0,4	Desconocida	19-mar-15	0,5	Desconocida
20-ene-15	0,3	Desconocida	20-mar-15	0,6	Desconocida
21-ene-15	0,5	Desconocida	21-mar-15	0,5	Desconocida
22-ene-15	0,3	Desconocida	23-mar-15	0,5	Desconocida
23-ene-15	0,5	Desconocida	24-mar-15	0,5	Desconocida
24-ene-15	0,3	Desconocida	25-mar-15	0,5	Desconocida
26-ene-15	0,3	Desconocida	26-mar-15	0,4	Desconocida
27-ene-15	0,4	Desconocida	27-mar-15	0,8	Desconocida
28-ene-15	0,4	Desconocida	28-mar-15	0,4	Desconocida
29-ene-15	0,6	Desconocida	30-mar-15	0,4	Desconocida
30-ene-15	0,5	Desconocida	31-mar-15	0,3	Desconocida
31-ene-15	0,4	Desconocida	01-abr-15	0,5	Desconocida
02-feb-15	0,2	Desconocida	02-abr-15	0,7	Desconocida
03-feb-15	0,4	Desconocida	04-abr-15	0,5	Desconocida
04-feb-15	0,3	Desconocida	06-abr-15	0,5	Desconocida
05-feb-15	0,5	Desconocida	07-abr-15	0,6	Desconocida
06-feb-15	0,5	Desconocida	08-abr-15	0,7	Desconocida
07-feb-15	0,3	Desconocida	09-abr-15	0,5	Desconocida
09-feb-15	0,4	Desconocida	10-abr-15	0,4	Desconocida
10-feb-15	0,5	Desconocida	11-abr-15	0,4	Desconocida
11-feb-15	0,3	Desconocida	13-abr-15	0,3	Desconocida
12-feb-15	0,5	Desconocida	14-abr-15	0,4	Desconocida
13-feb-15	0,4	Desconocida	15-abr-15	0,3	Desconocida
14-feb-15	0,3	Desconocida	16-abr-15	0,5	Desconocida
16-feb-15	0,3	Desconocida	17-abr-15	0,6	Desconocida
17-feb-15	0,7	Desconocida	18-abr-15	0,4	Desconocida
18-feb-15	0,4	Desconocida	20-abr-15	0,5	Desconocida
19-feb-15	0,5	Desconocida	21-abr-15	0,5	Desconocida
20-feb-15	0,3	Desconocida	21-abr-15	0,4	Oficina
21-feb-15	0,3	Desconocida	22-abr-15	0,5	Desconocida

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
22-abr-15	0,6	315	17-jun-15	0,00	332
23-abr-15	0,4	Desconocida	18-jun-15	0,77	190
23-abr-15	0,5	10	18-jun-15	0,73	Oficina
24-abr-15	0,5	Desconocida	18-jun-15	0,40	255
24-abr-15	0,4	367	19-jun-15	0,55	44
25-abr-15	0,6	Desconocida	19-jun-15	0,60	332
25-abr-15	0,5	Oficina	20-jun-15	0,40	Oficina
26-abr-15	0,5	Desconocida	22-jun-15	0,05	355
27-abr-15	0,3	38	23-jun-15	0,50	544
28-abr-15	0,5	410	23-jun-15	0,45	254
29-abr-15	0,7	285	24-jun-15	0,35	149
30-abr-15	0,7	265	25-jun-15	0,40	80
02-may-15	0,4	Oficina	26-jun-15	0,36	263
04-may-15	0,3	237	26-jun-15	0,40	332
05-may-15	0,6	580	27-jun-15	0,36	Oficina
06-may-15	0,7	57	29-jun-15	0,45	399
07-may-15	0,4	149	29-jun-15	0,60	380
08-may-15	0,5	454	30-jun-15	0,65	411
09-may-15	0,3	Oficina	30-jun-15	0,60	254
11-may-15	0,4	63	01-jul-15	0,67	97
12-may-15	0,6	14	01-jul-15	0,70	Oficina
13-may-15	0,5	389	02-jul-15	0,76	471
14-may-15	0,5	207	03-jul-15	0,30	445
15-may-15	0,5	Oficina	04-jul-15	0,45	Oficina
16-may-15	0,4	Oficina	06-jul-15	0,58	120
18-may-15	0,3	509	07-jul-15	0,37	398
19-may-15	0,7	31	08-jul-15	0,40	358
20-may-15	0,5	311	09-jul-15	0,48	289
21-may-15	0,4	608	10-jul-15	0,68	458
22-may-15	0,6	10	11-jul-15	0,46	Oficina
23-may-15	0,3	Oficina	13-jul-15	0,34	69
25-may-15	0,5	361	14-jul-15	0,46	9
26-may-15	0,6	370	15-jul-15	0,30	196
27-may-15	0,4	334	16-jul-15	0,30	495
28-may-15	0,8	472	17-jul-15	0,30	225
29-may-15	0,6	209	18-jul-15	0,35	Oficina
30-may-15	0,4	Oficina	20-jul-15	0,57	406
01-jun-15	0,40	42	21-jul-15	0,34	474
02-jun-15	0,50	192	22-jul-15	0,45	87
03-jun-15	0,40	111	23-jul-15	0,58	464
04-jun-15	0,50	378	24-jul-15	0,35	455
05-jun-15	0,40	486	25-jul-15	0,30	Oficina
06-jun-15	0,03	Oficina	27-jul-15	0,25	429
08-jun-15	0,03	336	28-jul-15	0,35	575
09-jun-15	0,03	10	29-jul-15	0,28	Oficina
10-jun-15	0,05	26	29-jul-15	0,30	606
11-jun-15	0,01	137	30-jul-15	0,71	28
12-jun-15	0,00	Fuerza Pública	31-jul-15	0,30	570
13-jun-15	0,00	Oficina	01-ago-15	0,30	Oficina
15-jun-15	0,03	438	03-ago-15	0,30	167
16-jun-15	0,00	62	04-ago-15	0,30	19

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación	Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
05-ago-15	0,50	333	05-oct-15	0,30	168
06-ago-15	0,77	299	06-oct-15	0,29	360
07-ago-15	0,30	409	07-oct-15	0,45	129
08-ago-15	0,30	Oficina	08-oct-15	0,37	151
10-ago-15	0,25	50	09-oct-15	0,50	390
11-ago-15	0,30	82	10-oct-15	0,45	Oficina
12-ago-15	0,25	491	12-oct-15	0,30	523
13-ago-15	0,37	60	13-oct-15	0,33	39
14-ago-15	0,25	310	14-oct-15	0,25	453
15-ago-15	0,32	Oficina	15-oct-15	0,25	470
17-ago-15	0,50	596	16-oct-15	0,25	30
18-ago-15	0,32	8	17-oct-15	0,20	Oficina
19-ago-15	0,30	497	18-oct-15	0,25	60
20-ago-15	0,45	152	19-oct-15	0,23	66
21-ago-15	0,30	30	20-oct-15	0,25	409
22-ago-15	0,25	Oficina	21-oct-15	0,30	311
24-ago-15	0,30	414	22-oct-15	0,29	255
25-ago-15	0,54	239	23-oct-15	0,60	529
26-ago-15	0,60	13	24-oct-15	0,20	Oficina
27-ago-15	0,50	486	26-oct-15	0,30	596
28-ago-15	0,36	541	27-oct-15	0,25	47
29-ago-15	0,46	Oficina	28-oct-15	0,40	453
31-ago-15	0,25	565	29-oct-15	0,25	523
01-sep-15	0,55	503	30-oct-15	0,32	322
02-sep-15	0,30	66	31-oct-15	0,30	Oficina
03-sep-15	0,30	282	02-nov-15	0,25	1
04-sep-15	0,35	221	03-nov-15	0,50	149
05-sep-15	0,60	Oficina	04-nov-15	0,35	134
07-sep-15	0,34	607	05-nov-15	0,30	135
08-sep-15	0,30	37	06-nov-15	0,32	80
09-sep-15	0,25	199	07-nov-15	0,30	Oficina
10-sep-15	0,37	285	09-nov-15	0,25	310
11-sep-15	0,32	257	10-nov-15	0,44	551
12-sep-15	0,30	Oficina	11-nov-15	0,30	286
14-sep-15	0,25	38	12-nov-15	0,50	466
16-sep-15	0,32	398	13-nov-15	0,35	181
17-sep-15	0,28	434	14-nov-15	0,30	Oficina
18-sep-15	0,25	244	16-nov-15	0,25	519
19-sep-15	0,20	Oficina	17-nov-15	0,40	410
21-sep-15	0,50	27	18-nov-15	0,50	166
22-sep-15	0,27	67	19-nov-15	0,40	428
23-sep-15	0,35	305	20-nov-15	0,30	606
24-sep-15	0,20	6	21-nov-15	0,35	Oficina
25-sep-15	0,25	328	23-nov-15	0,46	105
26-sep-15	0,20	Oficina	24-nov-15	0,41	300
28-sep-15	0,46	171	25-nov-15	0,49	458
29-sep-15	0,30	133	26-nov-15	0,40	191
30-sep-15	0,25	115	27-nov-15	0,50	104
01-oct-15	0,25	478	28-nov-15	0,30	Oficina
02-oct-15	0,30	499	30-nov-15	0,30	358
03-oct-15	0,25	Oficina	01-dic-15	0,25	466

Continuación de Cuadro A.13. 1

Fecha	Cn de Cl residual (mg/L)	Ubicación
02-dic-15	0,29	130
03-dic-15	0,35	8
04-dic-15	0,25	11
05-dic-15	0,36	Oficina
07-dic-15	0,30	829
08-dic-15	0,37	312
09-dic-15	0,25	80
10-dic-15	0,48	290
11-dic-15	0,40	10
12-dic-15	0,25	Oficina
14-dic-15	0,29	604
15-dic-15	0,35	251
16-dic-15	0,30	310
17-dic-15	0,40	468
18-dic-15	0,30	303
19-dic-15	0,33	Oficina
21-dic-15	0,30	38
22-dic-15	0,50	405
23-dic-15	0,30	195
24-dic-15	0,33	46
26-dic-15	0,30	Oficina
28-dic-15	0,25	117
29-dic-15	0,50	465
30-dic-15	0,37	417
31-dic-15	0,40	108

APÉNDICE 16. FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DEL FGDI - FIME

Proyecto Final de Graduación: "Propuesta de mejoras para el sistema de acueducto y evaluación de la oferta del recurso hídrico - Acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica."			
Elaborado por Laura Ureña Vargas		Fecha: Marzo 2016	
Diseño de Filtro Grueso Dinámico (FGDI)			
Datos Iniciales			
Caudal de diseño asumido (QD)=		21 L/s	Caudal de diseño total asumido
QMD=QD= 20,03 L/s		75,60 m3/h	
Parámetros de diseño			
N° de unidades=		3	N° de unidades en paralelo
Velocidad de filtración asumida (Vf)=		3 m/h	
Vf (2 - 3) m/h			
Caudal por unidad (Qd)=		7,00 L/s	Caudal de diseño para cada unidad de FGDI
		25,20 m3/h	
Caudal disponible para Lavado (QL)=		7,00 L/s	
Se asume el QL=Qd		0,01 m3/s	
Cálculo del área superficial (As)			
As=	8,40 m2	DENTRO DE NORMA	
As = Qd / Vf	< 10m2		
Qd: caudal por unidad (m3/h)			
Vf: Velocidad de filtración asumida (m/h)			
Cálculo de las dimensiones del filtro			
Ancho asumido (b)=			
2 m			
Largo (l)=			
4,20 m			
Altura (Hf)=			
1,00 m			
Hf = Hls + Hlf + Hbl			
Hls : altura del lecho de soporte (m)	0,3 m		
Hlf : altura de lecho de arena (m)	0,6 m		
Hbl : altura borde libre (m)	0,1 m		
Vs=			
0,23 m/s		DENTRO DE NORMA	
QL=			0,01 m3/s
Vs: 0,15 - 0,30 m/s			
b: ancho del filtro (m)			$b = 3,40 \cdot \frac{QL}{Vs^3}$
QL: caudal disponible para lavado (m3/s)		$Vs = \sqrt[3]{\frac{3,40 \cdot QL}{b}}$	
Resumen de valores de diseño para FGDI			
Periodo de Diseño (años)	8 -12		
Periodo de Operación(h/d)*	24		
Velocidad de Filtración (m/h)	2 a 3		
Número mínimo de unidades en paralelo	2		
Área de filtración por unidad (m2)	< 10		
Velocidad superficial de flujo durante el lavado (m/s)	0,15 - 0,3		
Lecho Filtrante	0,6		
- Longitud (m)			
- Tamaño de gravas	Ver cuadro		
Altura del vertedero de salida	0,03-0,05(**)		
(*) En estaciones de bombeo, con periodos de bombeo inferiores a 24 h/día se recomienda prever un almacenamiento de agua cruda, a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGDI			
(**) medido a partir del lecho superficial de grava			
Granulometría y espesor de capas para el lecho filtrante			
Posición en la Unidad	Espesor de capa (m)	Tamaño de grava (mm) CEPIS (2006) Sánchez et al	
Superior	0,20	3,0 - 6,0	3 - 5
Intermedio	0,20	6,0 - 13,0	5 - 15
Inferior, Fondo	0,20	13,0 - 25,0	13 - 25
Resumen de valores de diseño de cada unidad de FGDI			
N° de unidades en paralelo=	3	asumido	
Vf asumida=	3,00	m/h	
Caudal total=	21,00	L/s	
Caudal unidad=	7,00	L/s	
Ancho=	2,00	m	
Largo=	4,20	m	
Altura=	1,00	m	
Material filtrante		Volumen por unidad m ³	Volumen total m ³
Lecho de soporte=	2,52	7,56	13,0 - 25,0
Capa superior =	1,68	5,04	3,0 - 6,0
Capa intermedia =	1,68	5,04	6,0 - 13,0
Capa inferior =	1,68	5,04	13,0 - 25,0

APÉNDICE 17. FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DEL FGAS2 – FIME

Proyecto Final de Graduación: "Propuesta de mejoras para el sistema de acueducto y evaluación de la oferta del recurso hídrico - Acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica."						
Elaborado por Laura Ureña Vargas		Fecha: Marzo 2016				
Diseño de Filtro Grueso Ascendente en Serie 2 (FGAS2)						
Datos Iniciales						
Caudal de diseño (QD)=	21 L/s	Caudal de diseño total asumido				
QMD=QD=	20.03 L/s		75.60 m ³ /h			
Parámetros de diseño						
N° de unidades FG=	3	N° de unidades en paralelo				
Velocidad de filtración asumida (Vf)=	0.5 m/h					
Vf (0.3 - 0.6) m/h						
N° de unidades en serie=	2	N° de unidades en serie				
Caudal por unidad (Qd)=	7.00 L/s	Caudal de diseño para cada unidad de FGAS				
	25.20 m ³ /h					
Cálculo del área superficial (As)						
As total=	151.20 m ²					
As = Qd/ Vf						
Qd: caudal por unidad (m ³ /h)						
Vf: Velocidad de filtración asumida (m/h)						
As por unidad=	25.20 m ²	FUERA DE NORMA.				
As (m ²) =	15 - 25					
Cálculo de las dimensiones de cada unidad						
Ancho (b)=	5.02 m					
Largo (l)=	5.02 m					
As: l* a	Considerando unidades cuadradas					
As: Área superficial						
Altura (Hf1)=	1.50 m					
Hf = H1s + Hf1 + Hb1						
H1s : altura del lecho de soporte (m)	0.3 m					
Hf1 : altura de lecho de arena (m)						
Hb1 : altura borde libre (m)						
Hf1:	0.80 m					
13 - 19 (mm)	0.30 - 0.45 (m)	0.45 m				
6 - 13 (mm)	0.30 - 0.45 (m)	0.45 m				
Hb1:	0.30 m					
Altura del sobrenadante (m) (0.10 - 0.20)	0.2 m					
Altura (Hf2)=	1.50 m					
Hf = H1s + Hf2 + Hb1						
H1s : altura del lecho de soporte (m)	0.35 m					
Hf2 : altura de lecho de arena (m)						
Hb1 : altura borde libre (m)						
Hf2:	0.85 m					
3 - 6 (mm)	0.30 - 0.45 (m)	0.45 m				
1.6 - 3 (mm)	0.30 - 0.45 (m)	0.4 m				
Hb1:	0.30 m					
Altura del sobrenadante (m) (0.10 - 0.20)	0.2 m					
Resumen de valores de diseño para FG						
Criterio	Valores Recomendados					
Periodo de Diseño (años)	8 -12					
Periodo de Operación/h/d*	24					
Velocidad de Filtración (m/h)	0.3 - 0.6					
Número mínimo de unidades en paralelo	1					
FGAC	2 - 3					
Lecho Filtrante						
- Longitud total (m)						
FGAC	0.60 - 0.90					
FGAS	1,15-2,35					
- Tamaño de gravas (mm)	Ver cuadro					
Lecho de soporte total						
Longitud (m)	0.30 - 1.25					
Tamaño de gravas (mm)	Ver cuadro					
Altura sobrenadante de agua (m)	0.10 - 0.20					
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m)	2.5 - 3.0					
Área de filtración por unidad (m ²)	15 - 25					
Granulometría y espesor de capas para el lecho filtrante (CEPIS.2005)						
Lecho filtrante (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 - 25	0.30*	0.30*		0.30*	0.20*	
13 - 19	0.20 - 0.30	0.30 - 0.45	0.20*	0.15	0.15*	0.15*
6 - 13	0.15 - 0.20	0.30 - 0.45	0.15*	0.45 - 0.75	0.15*	0.15*
3 - 6	0.15 - 0.20		0.30 - 0.45		0.40 - 0.70	0.15*
1.6 - 3	0.15 - 0.20		0.25 - 0.40			0.40 - 0.75
Total (m):						
Soporte	0.30	0.30	0.35	0.30	0.50	0.45
Lecho Filtrante	0.60 - 0.90	0.60 - 0.90	0.55 - 0.85	0.60 - 0.90	0.40 - 0.70	0.45 - 0.75
* Lecho de soporte						
Resumen de valores de diseño de cada unidad de FGAS2						
N° de unidades en paralelo FGAC=	3		asumido			
N° de unidades en serie=	2					
Vf asumida=	0.50		m/h			
Caudal total=	21.00		L/s			
Caudal unidad=	7.00		L/s			
Ancho=	5.02		m			
Largo=	5.02		m			
Altura S1=	1.50		m			
Altura S2=	1.50		m			
Material filtrante		Volumen por unidad m ³	Volumen total m ³	Granulometría mm		
Lecho de soporte S1=		7.56	22.68	19 - 25		
Capa superior S1=		11.34	34.02	13 - 19		
Capa inferior S1 =		11.34	34.02	6 - 13		
Lecho de soporte 1 S2=		5.04	15.12	13 - 19		
Lecho de soporte 2 S2=		3.78	11.34	6 - 13		
Capa superior S2=		11.34	34.02	3 - 6		
Capa inferior S2 =		10.08	30.24	1.6 - 3		

APÉNDICE 18. FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DEL FLA – FIME

Proyecto Final de Graduación: "Propuesta de mejoras para el sistema de acueducto y evaluación de la oferta del recurso hídrico - Acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica."			
Elaborado por Laura Oroño Vargas		Fecha: Marzo 2016	
Diseño de Filtro Lento en Arena (FLA)			
Resumen de valores de diseño para FLA			
Criterio	Valores Recomendados Cinara, IRC (1998)	CEPIS (2005)	
Periodo de Diseño (años)	8-12		
Periodo de Operación(h/d)*	24		
Velocidad de Filtración (m/h)	0,1 - 0,3	0,1 - 0,2	
Número mínimo de unidades de filtración		2	
Altura de la arena (m)			
Inicial	0,8	1,00	
Mínima	0,5	0,50	
Diámetro efectivo (mm)	0,15 - 0,30	0,15 - 0,35	
Coeficiente de uniformidad			
Aceptable	< 4	< 3	
Desable	< 2	1,8 - 2,0	
Altura del lecho de soporte con drenaje (m)	0,25	0,1 - 0,30	
Altura sobrenadante de agua (m)	0,75	1,0 - 1,50	
Borde Libre (m)	0,1	0,20 - 0,30	
Área de filtración por unidad (m ²)	< 100	< 100	
Resumen de valores de diseño de cada unidad de FLA			
N° de unidades paralelo=	3	asumido	
Vf asumida=	0,30	m/h	
Caudal total=	21,00	L/s	
Caudal unidad=	7,00	L/s	
Ancho=	7,48	m	
Largo=	11,22	m	
Altura=	2,15	m	
Material filtrante			
	Volumen par m ³	Volumentotal m ³	Granulometría mm
Lecho S inferior=	12,60	37,80	3,0 - 13,0
Lecho S medio=	4,20	12,60	2,0 - 3,0
Lecho S superior=	4,20	12,60	1,0 - 1,4
Lecho filtrante=	67,20	201,60	0,15 - 0,30
Cálculos de diseño			
Caudal de diseño (QD)=	21 L/s	Caudal de diseño total asumido	
QMD=QD= 20,03 L/s	75,60 m ³ /h		
Cálculos de unidades			
Velocidad de filtración asumida (Vf)=	0,3 m/h	N° de unidades en paralelo	
Vf:(0,1 - 0,3) m/h			
N° de unidades=	3		
N: n=0,5*√A		Caudal de diseño para cada unidad de FLA	
Caudal por unidad (Qd)=	7,00 L/s		
	25,20 m ³ /h		
Cálculos de área			
As total=	252,00 m ²		
As = QD/ Vf			
Qd: caudal de diseño (m ³ /h)			
Vf: Velocidad de filtración asumida (m/h)			
As por unidad=	84,00 m ²	DENTRO DE NORMA	
As (m ²) =	< 100		
Cálculos de anchos y largos			
Ancho (b)=	7,48 m		
b= [((N+1)*As)/(2*N)] ^{0,5}			
As: Área superficial por unidad (m ²)			
N: N° de unidades			
Largo (l)=	11,22 m		
l= [(2*N*As)/(N+1)] ^{0,5}			
As: Área superficial por unidad (m ²)			
N: N° de unidades			
Cálculos de alturas			
Altura (Hf)=	2,15 m		
Hf = Hs + Hlf + H2 + Hbl			
Hs: altura del lecho de soporte (m)	0,25 m		
Lecho soporte inferior (3,0-13,0)mm	0,15 m		
Lecho soporte medio (2,0-3,0)mm	0,05 m		
Lecho soporte superior (1,0-1,4)mm	0,05 m		
Hlf: altura de lecho de arena (m)	0,80 m		
H2: altura de sobrenadante (m)	0,10 m		
Hbl: altura borde libre (m)	0,15 m		
$a = \left(\frac{2 \cdot n \cdot A}{n+1} \right)^{0,5} \quad b = \left(\frac{(n+1) \cdot A}{2 \cdot n} \right)^{0,5}$			

APÉNDICE 19. FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO PARA VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO

Proyecto Final de Graduación: "Propuesta de mejoras para el sistema de acueducto y evaluación de la oferta del recurso hídrico - Acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica."															
Cálculo del volumen de almacenamiento															
Datos Iniciales															
Caudal máximo diario (QMD)=	20,03 L/s	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">72,11 m³.h</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">0,02 m³/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1730,59 m³.d</td> </tr> </table>	72,11 m ³ .h	0,02 m ³ /s	1730,59 m ³ .d										
72,11 m ³ .h															
0,02 m ³ /s															
1730,59 m ³ .d															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Volumen de Regulación (V_r):</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">519,18 m³</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">$V_r = C \times QMD \times t_r$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Coeficiente de regulación (C):</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">0,3</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">0,15 a 0,30 para tanques semienterrados</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">QMD: caudal máximo diario (m³/d)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">t_r: tiempo de retención (d)</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">1 d</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">Mínimo un día</td> </tr> </table>		Volumen de Regulación (V _r):	519,18 m ³	$V_r = C \times QMD \times t_r$		Coeficiente de regulación (C):	0,3	0,15 a 0,30 para tanques semienterrados		QMD: caudal máximo diario (m ³ /d)		t _r : tiempo de retención (d)	1 d	Mínimo un día	
Volumen de Regulación (V _r):	519,18 m ³														
$V_r = C \times QMD \times t_r$															
Coeficiente de regulación (C):	0,3														
0,15 a 0,30 para tanques semienterrados															
QMD: caudal máximo diario (m ³ /d)															
t _r : tiempo de retención (d)	1 d														
Mínimo un día															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Volumen contra incendios (V_i):</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">144,00 m³</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">$V_i = 3,6 \times Q_i \times t_i$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Caudal de incendios (Q_i):</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10 L/s</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">10 L/s para poblaciones < 10 000 habitantes</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">t_i: tiempo (h)</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">4 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">Entre 2 - 4 h</td> </tr> </table>		Volumen contra incendios (V _i):	144,00 m ³	$V_i = 3,6 \times Q_i \times t_i$		Caudal de incendios (Q _i):	10 L/s	10 L/s para poblaciones < 10 000 habitantes		t _i : tiempo (h)	4 h	Entre 2 - 4 h			
Volumen contra incendios (V _i):	144,00 m ³														
$V_i = 3,6 \times Q_i \times t_i$															
Caudal de incendios (Q _i):	10 L/s														
10 L/s para poblaciones < 10 000 habitantes															
t _i : tiempo (h)	4 h														
Entre 2 - 4 h															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Volumen de reserva (V_{re}):</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">288,43 m³</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">$V_{re} = 3,6 \times QMD \times t_{re}$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Caudal máximo diario (QMD):</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20,03 L/s</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">t_{re}: tiempo de reserva (h)</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">4 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;">Entre 2 - 4 h</td> </tr> </table>		Volumen de reserva (V _{re}):	288,43 m ³	$V_{re} = 3,6 \times QMD \times t_{re}$		Caudal máximo diario (QMD):	20,03 L/s	t _{re} : tiempo de reserva (h)	4 h	Entre 2 - 4 h					
Volumen de reserva (V _{re}):	288,43 m ³														
$V_{re} = 3,6 \times QMD \times t_{re}$															
Caudal máximo diario (QMD):	20,03 L/s														
t _{re} : tiempo de reserva (h)	4 h														
Entre 2 - 4 h															

APÉNDICE 20. PROPUESTA DE DESARENADOR

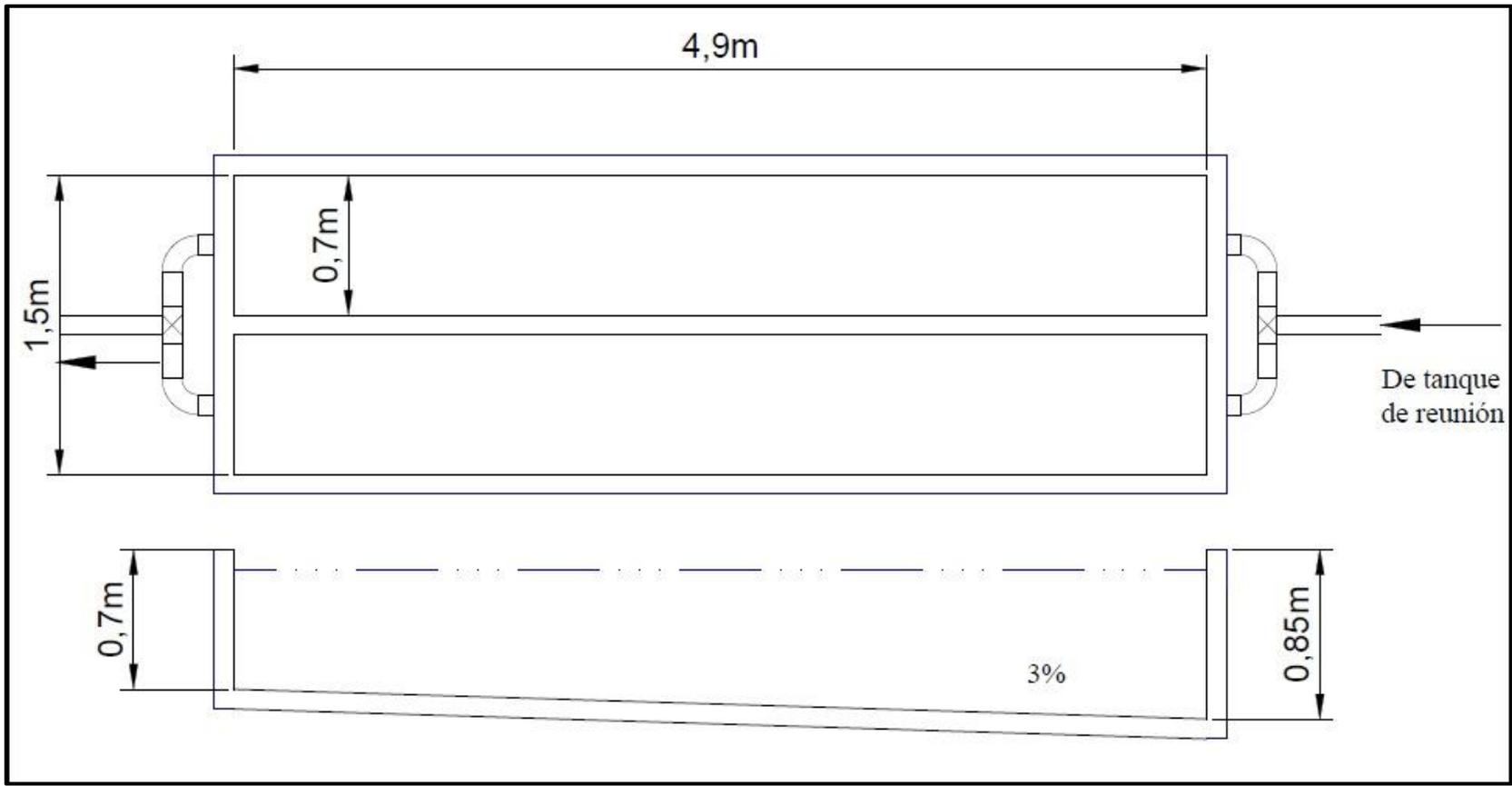


Figura A.20. 1. Vista superior (arriba) y lateral (abajo) del desarenador propuesto

APÉNDICE 21. PROPUESTA DE FIME

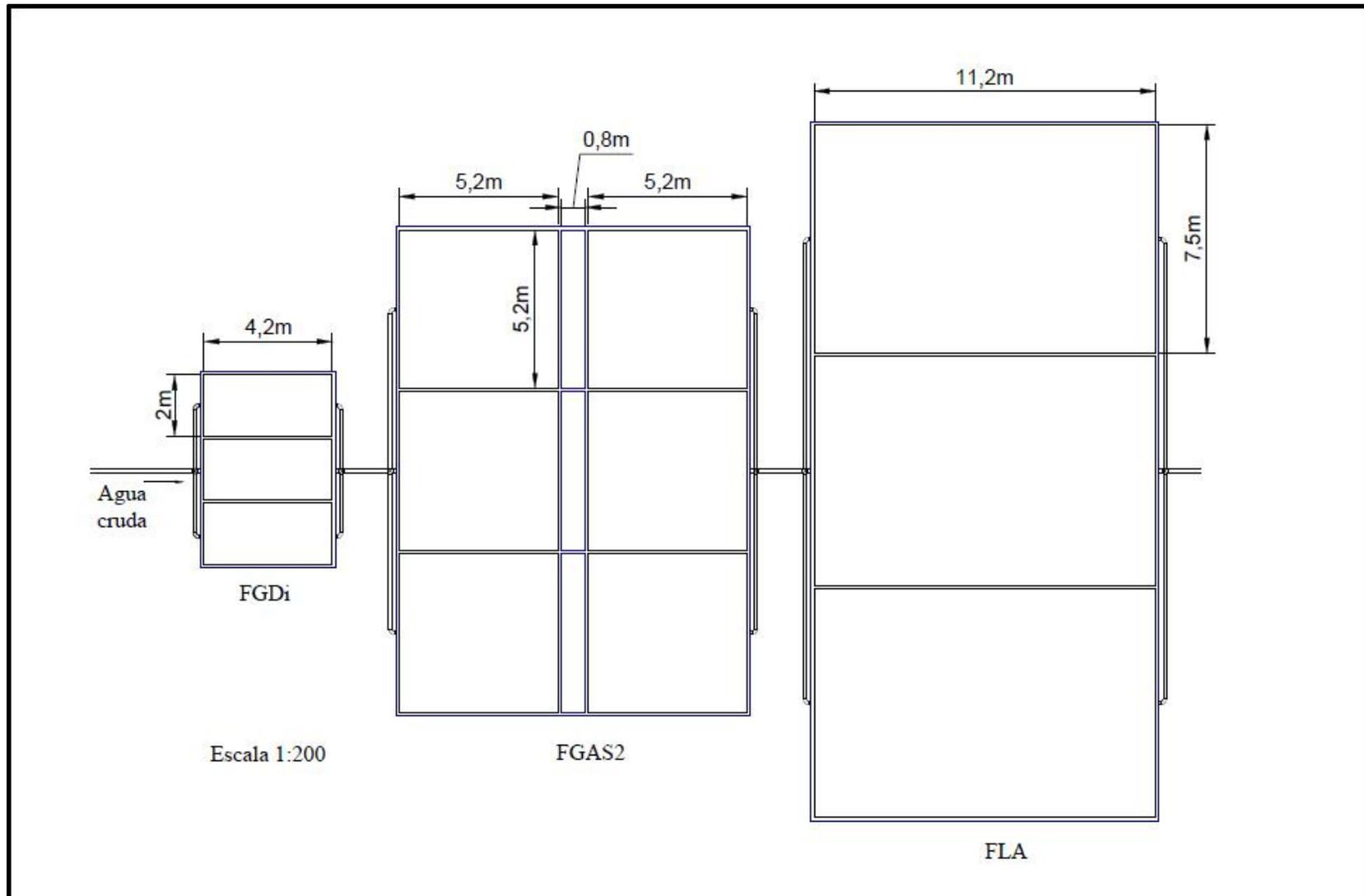


Figura A.21. 1. Vista en planta de la propuesta de FiME

- **Filtro Grueso Dinámico (FGDi)**

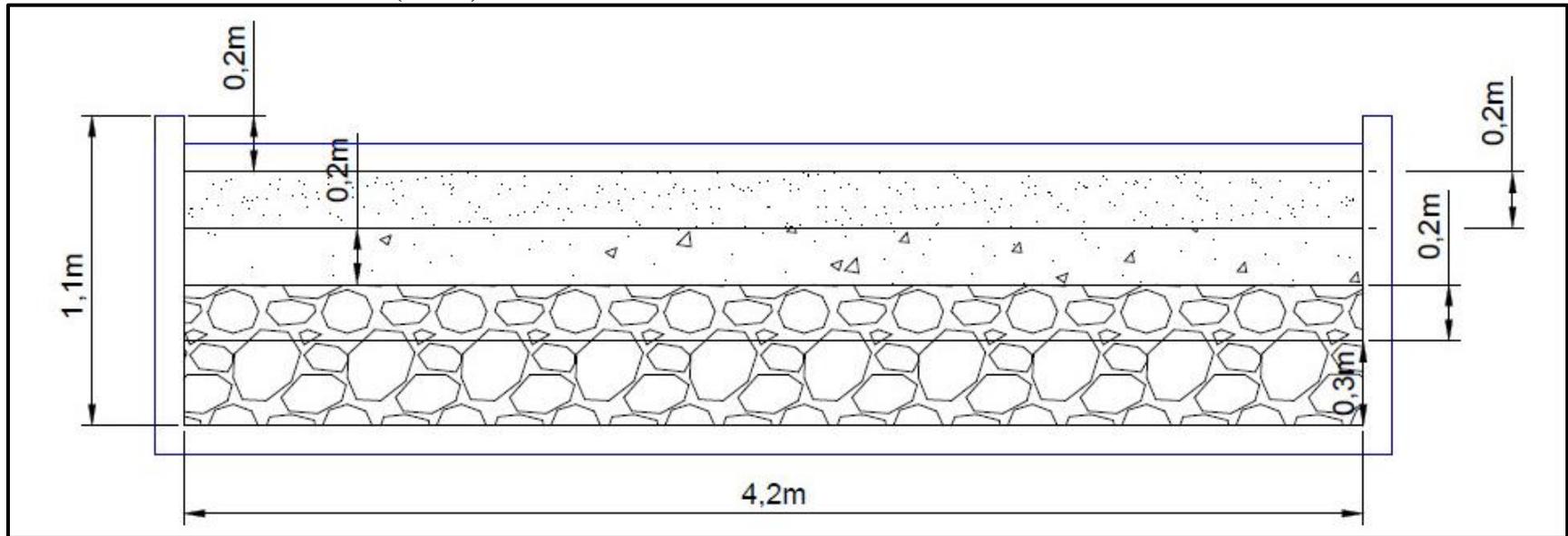


Figura A.21. 2. Vista Lateral del FGDi propuesto

Cuadro A.21. 1. Resumen de material filtrante requerido para el lecho de soporte y de arena del FGDi propuesto

Material filtrante	Volumen (m ³)		Granulometría (mm)*
	Por unidad	Total	
Lecho de soporte	2,52	7,56	13,0 - 25,0
Capa superior	1,68	5,04	3,0 - 6,0
Capa intermedia	1,68	5,04	6,0 - 13,0
Capa inferior	1,68	5,04	13,0 - 25,0

*Adaptado de Gerardo Galvis, Latorre, & Visscher (1999b)

- Filtro Grueso Ascendente en Serie de dos unidades (FGAS2)

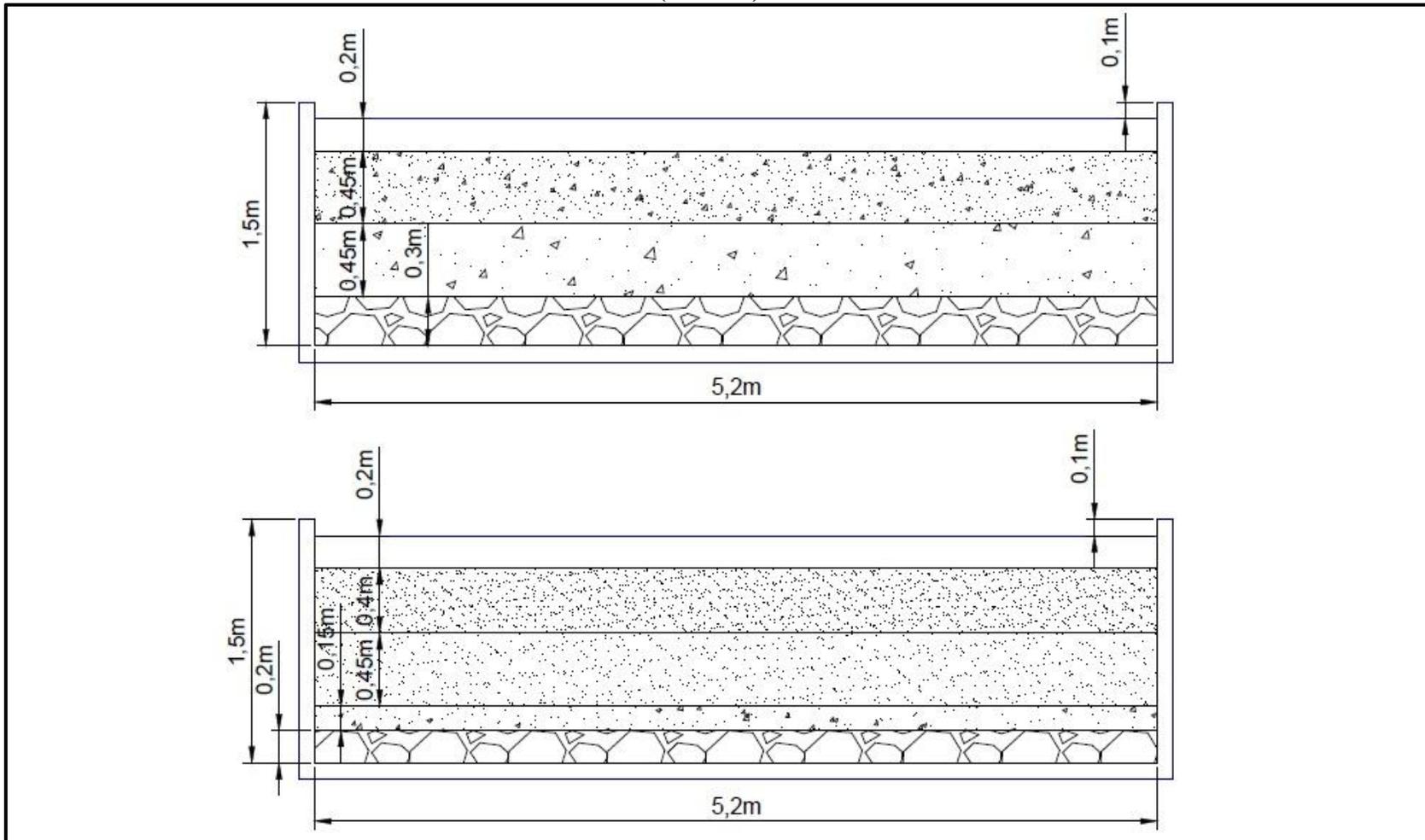


Figura A.21. 3. Vista lateral de los FGAS2 propuestos (arriba primera unidad de filtración en serie S1 – abajo segunda unidad de filtración en serie S2)

Cuadro A.21. 2. Resumen de material requerido para el lecho de soporte y filtrante de los FGAS propuestos

Material filtrante	Volumen (m³)		Granulometría (mm)*
	Por unidad	Total	
Lecho de soporte S1	7,56	22,68	19 - 25
Capa superior S1	11,34	34,02	13 - 19
Capa inferior S1	11,34	34,02	6 - 13
Lecho de soporte 1 S2	5,04	15,12	13 - 19
Lecho de soporte 2 S2	3,78	11,34	6 - 13
Capa superior S2	11,34	34,02	3 - 6
Capa inferior S2	10,08	30,24	1,6 - 3

*Adaptado de Gerardo Galvis, Latorre, & Visscher (1999a)

- **Filtro Lento en Arena (FLA)**

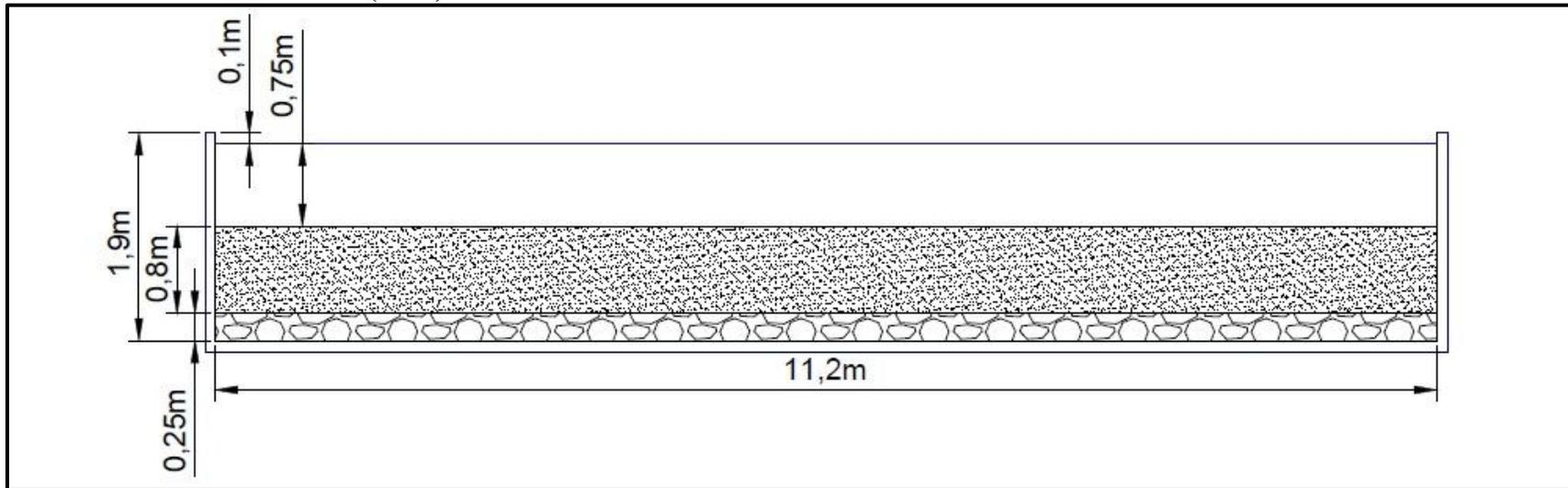


Figura A.21. 4. Vista lateral de FLA propuesto

Cuadro A.21. 3. Resumen de material filtrante requerido para el lecho de soporte y de arena del FLA propuesto

Material filtrante	Volumen (m ³)		Granulometría (mm)*
	Por unidad	Total	
Lecho de soporte inferior	12,60	37,80	9,0 – 19,0
Lecho de soporte medio	4,20	12,60	2,0 – 9,0
Lecho de soporte superior	4,20	12,60	1,0 – 1,4
Lecho de arena	67,20	201,6	D ₁₀ 0,15 – 0,3

D₁₀: abertura del tamiz a través del cual para el 10% de los granos (en peso)

*Adaptado de Gerardo Galvis et al. (1999)

9 ANEXOS

ANEXO 1. LINEAMIENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE FGD_i

Cuadro An.1. 1. Criterios de diseño para filtros gruesos dinámicos (FGD_i)

Parámetro	Objetivo principal del tratamiento:	
	Mejorar la calidad del agua	Reducir el impacto de los sólidos suspendido
Velocidad de filtración (m/h)	0,5 – 2,0	> 5
Capa del lecho filtrante:		
• Superior [grosor (m) y tamaño (mm)]	0,20 y 3 - 5	0,20 - 0,30 y 1,5 - 3
• Media [grosor (m) y tamaño (mm)]	0,20 y 5 - 15	0,10 y 3 - 5
• Inferior [grosor (m) y tamaño (mm)]	0,20 y 13 - 25	0,10 y 5 - 15
Velocidad de operación superficial (m/s)	Nula o 0,1 - 0,3	Nula o < 0,05
Velocidad de lavado superficial (m/h)	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3

Tomado de Sánchez et al., (2007)

ANEXO 2. LINEAMIENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE FGA

Cuadro An.2. 1. Criterios de diseño para filtros gruesos de flujo ascendente (FGA)

Parámetro	FGAC	FGAS de 1,2 o 3 compartimientos
Tasa de filtración (m/h)	0,3 – 1,0	0,3 – 1,0
Tamaño principal de grava por compartimiento:	Un compartimiento	Tres compartimientos
• 1 [longitud (m) y tamaño (mm)]	0,20 – 0,30 y 25 - 19	0,60 – 1,0 y 25 - 19
• 2 [longitud (m) y tamaño (mm)]	0,20 – 0,30 y 19 - 13	0,60 – 1,0 y 19 - 13
• 3 [longitud (m) y tamaño (mm)]	0,20 – 0,30 y 13 - 6	0,60 – 1,0 y 13 - 6
• Capa inferior de drenaje con grava [longitud (m) y tamaño (mm)]	0,15 – 0,30 y 25 - 35	0,15 – 0,30 y 25 - 35
Altura del agua sobrenadante (m)	0,20	0,20
Cabeza estática disponible para limpieza hidráulica (m)	> 2,5	> 2,5
Velocidad inicial de drenaje para limpieza (m/h)	> 10	> 10
Área del lecho de filtración por unidad (m ²)	< 20	< 20

Tomado de Sánchez et al., (2007)

Cuadro An.2. 2. Resumen de valores de diseño para Filtros Gruesos de Flujo Ascendente

Criterio	Valores Recomendados
Periodo de Diseño (años)	8 -12
Periodo de Operación (h/d)*	24
Velocidad de Filtración (m/h)	0,3 - 0,6
Número mínimo de unidades en paralelo	
FGAC	1
FGAS	2 - 3
Lecho Filtrante	
.- Longitud total (m)	
FGAC	0,60 - 0,90
FGAS	1,15-2,35
.- Tamaño de gravas (mm)	Ver Cuadro An.2. 3
Lecho de soporte total	
Longitud (m)	0,30 - 1,25
Tamaño de gravas (mm)	Ver Cuadro An.2. 3
Altura sobrenadante de agua (m)	0,10 - 0,20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m)	2,5 - 3,0
Área de filtración por unidad (m ²)	15 - 25

Tomado de (OPS & CEPIS, 2005b)

Cuadro An.2. 3. Granulometría y espesor de capas para el lecho filtrante del FG

Lecho filtrante (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 - 25	0,30*	0,30*		0,30*	0,20*	
13 - 19	0,20 - 0,30	0,30 - 0,45	0,20*	0,15	0,15*	0,15*
6 - 13	0,15 - 0,20	0,30 - 0,45	0,15*	0,45 - 0,75	0,15*	0,15*
3 - 6	0,15 - 0,20		0,30 - 0,45		0,40 - 0,70	0,15*
1,6 - 3	0,15 - 0,20		0,25 - 0,40			0,40 - 0,75
Total (m):						
Soporte	0,30	0,30	0,35	0,30	0,50	0,45
Lecho Filtrante	0,60 - 0,90	0,60 - 0,90	0,55 - 0,85	0,60 - 0,90	0,40 - 0,70	0,45 - 0,75

* Lecho de soporte

Tomado de (OPS & CEPIS, 2005b)

ANEXO 3. VALORES DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURA EN LA ESTACIÓN TERMOPLUVIOMÉTRICA MÁS CERCANA A LA ZONA EN ESTUDIO

Cuadro An.3. 1. Valores de precipitación y temperatura promedio durante el año 2010 y 2011 en la estación termoplumiométrica del IMN, ubicada en el TEC

Mes	Lluvia mensual (mm)		Temperatura promedio (°C)					
			2010			2011		
	2010	2011	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Enero	20,8	70,3	21,6	13,3	17,4	21,5	13,5	17,5
Febrero	35,7	21,6	24,1	15,3	19,7	22,8	13,6	18,2
Marzo	12,7	7,4	23,6	15,1	19,3	22,7	13,2	18,0
Abril	76,4	3,4	25,3	15,8	20,6	24,4	14,5	19,5
Mayo	91,0	207,8	25,0	16,4	20,7	25,0	16,6	20,8
Junio	249,3	201,1	25,1	16,1	20,6	24,9	16,5	20,7
Julio	185,2	223,4	24,7	16,0	20,4	24,1	15,9	20,0
Agosto	306,7	104,0	25,0	16,2	20,6	25,2	15,7	20,4
Setiembre	380,4	112,4	24,9	16,1	20,5	25,2	16,0	20,6
Octubre	155,6	397,9	23,7	15,6	19,7	23,5	16,1	19,8
Noviembre	215,7	87,1	22,0	15,0	18,5	22,2	15,3	18,8
Diciembre	93,2	84,2	19,8	13,5	16,7	21,2	14,3	17,7

Elaborado a partir de información tomada del Boletín Meteorológico Mensual del IMN (2010, 2011)

Cuadro An.3. 2. Valores de precipitación y temperatura promedio durante el año 2012 y 2013 en la estación termoplumiométrica del IMN, ubicada en el TEC

Mes	Lluvia mensual (mm)		Temperatura promedio (°C)					
			2012			2013		
	2012	2013	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Enero	20,1	13,4	21,5	12,7	17,1	22,3	13,1	17,7
Febrero	46,7	4,2	22,4	13,0	17,7	22,0	12,7	17,4
Marzo	N.R.	58,6	N.R.	N.R.	N.R.	22,4	14,1	18,3
Abril	N.R.	12,4	N.R.	N.R.	N.R.	24,2	15,0	19,6
Mayo	N.R.	1,3	N.R.	N.R.	N.R.	24,5	15,3	19,9
Junio	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	23,8	15,7	19,8
Julio	196,3	83,3	22,9	15,5	19,2	23,5	15,6	19,6
Agosto	77,3	79,2	25,0	15,3	20,2	24,1	15,2	19,7
Setiembre	84,3	243,8	24,5	15,1	19,8	24,8	15,7	20,3
Octubre	194	155,1	23,6	15,4	19,5	24,4	15,4	19,9
Noviembre	107,6	125,5	20,6	15,0	17,8	23,5	15,0	19,2
Diciembre	57,1	12,4	22,0	14,3	18,2	22,6	13,4	18

Elaborado a partir de información tomada del Boletín Meteorológico Mensual del IMN (2012, 2013)

Notas: N.R.: valores no reportados

Cuadro An.3. 3. Valores de precipitación y temperatura promedio durante el año 2014 y 2015 en la estación termopluviométrica del IMN, ubicada en el TEC

Mes	Lluvia mensual (mm)		Temperatura promedio (°C)					
			2014			2015		
	2014	2015	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Enero	1,3	98,8	23,1	12,9	18,0	21,2	14,4	17,8
Febrero	1,3	24,5	23,1	12,9	18,0	22,3	14,0	18,2
Marzo	1,1	11,0	23,8	13,5	18,7	22,8	13,8	18,3
Abril	15,3	7,2	23,8	15,1	19,5	24,4	15,1	19,7
Mayo	64,1	104,1	N.R.	N.R.	N.R.	23,8	16,3	20,0
Junio	N.R.	246,3	N.R.	N.R.	N.R.	24,2	17,3	20,7
Julio	94,5	127,0	29,1	16,3	23,2	23,2	16,4	19,8
Agosto	108,4	20,6	23,8	15,5	19,7	24,3	16,5	20,4
Setiembre	279,5	124,4	24,6	15,7	20,1	24,9	16,3	20,6
Octubre	151,0	206,0	24,5	16,1	20,3	25,7	16,8	21,2
Noviembre	56,8	131,4	23,3	15,6	19,4	24,8	16,5	20,6
Diciembre	95,2		21,4	14,8	18,1			

Elaborado a partir de información tomada del Boletín Meteorológico Mensual del IMN, (2014 y 2015).

ANEXO 4. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA DE LOS SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN (SPD)

Cuadro An.4. 1. Efectos nocivos causados por los Subproductos de Desinfección (SPD) en la salud pública

Clase de subproducto	Compuesto	Clasificación EPA	Efectos nocivos
Trihalometanos (THM)	Cloroformo	B2	Cáncer, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción
	Dibromoclorometano	C	Sistema nervioso, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción
	Bromodichlorometano	B2	Cáncer, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción
	Bromoformo	B2	Cáncer, sistema nervioso, hígado, efectos sobre el riñón
Haloacetoniitrilo (HAN)	Tricloroacetoniitrilo	C	Cáncer, efectos mutagénicos y clastogénicos
Aldehídos halogenados y cetonas	Formaldehído	B1	Mutagénicos *
Halofenol	2-Chlorofenol	D	Cáncer, agente de tumores
Ácidos haloacéticos (AHA)	Ácido dicloroacético	B2	Cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo
	Ácido tricloroacético	C	Hígado, riñón, bazo, efectos sobre el desarrollo
Compuestos inorgánicos	Bromatos	B2	Cáncer
	Cloritos	D	Efectos sobre el desarrollo y la reproducción

Tomado de (Rodríguez et al., 2007).

Notas: A: carcinógeno humano, B1: carcinógeno humano probable (con alguna evidencia epidemiológica), B2: carcinógeno humano probable (evidencia de laboratorio suficiente), C: carcinógeno humano posible, D: no clasificable, *: exposición por inhalación. Modificada de EPA (1999b).

ANEXO 5. MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LA TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

En determinado periodo de tiempo el tamaño de la población puede crecer, mantenerse constante o reducirse, dependiendo del efecto de los nacimientos, defunciones y la migración. No obstante, la tasa de crecimiento poblacional se estima suponiendo un patrón establecido, partiendo del supuesto que la población sigue un crecimiento de acuerdo a un modelo matemático (Torres-Degró, 2011).

A continuación se describen los tres modelos básicos:

- Tasa de crecimiento aritmético o lineal: supone un comportamiento lineal y de cambio constante en el crecimiento de la población, manteniendo un mismo monto en la unidad de tiempo. Es el método más simple y se recomienda para periodos cortos de tiempo. La fórmula para su cálculo es (Torres-Degró, 2011):

$$r = \frac{1}{a} \times \left(\frac{P^{t+n} - P^t}{P^t} \right)$$

Ecuación 5.

donde:

r: tasa de crecimiento anual aritmético

a: amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia

P^{t+n} : población al momento actual

P^t : población al momento inicial o población base o población inicial

- Tasa de crecimiento geométrico: se conoce como interés compuesto y supone un crecimiento constante en el tiempo, manteniendo un porcentaje de crecimiento constante por unidad de tiempo, por lo que se puede usar para periodos largos. Corresponde la siguiente fórmula (Torres-Degró, 2011):

$$r = \left(\frac{P^{t+n}}{P^t} \right)^{1/a} - 1$$

Ecuación 6.

donde:

r: tasa de crecimiento anual geométrico

a: amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia

P^{t+n} : población al momento actual

P^t : población al momento inicial o población base o población inicial

- Tasa de crecimiento geométrico simplificado (Bocaz): evita el uso de logaritmos y se puede emplear cuando el periodo de tiempo no es muy largo, entre 5 a 10 años. La siguiente es la expresión simplificada de Albino-Bocaz (Torres-Degró, 2011):

$$r = \left(\frac{2}{a}\right) \times \left(\frac{P^{t+n} - P^t}{P^{t+n} + P^t}\right)$$

Ecuación 7.

donde:

r: tasa de crecimiento anual geométrico (simplificado de Bocaz)

a: amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia

P^{t+n} : población al momento actual

P^t : población al momento inicial o población base o población inicial

- Tasa de crecimiento exponencial o logarítmica: supone que el crecimiento se produce de forma continua y no por unidad de tiempo, lo cual se fundamenta en los principios de cálculo matemático. A continuación la fórmula (Torres-Degró, 2011):

$$r = \frac{\ln P^{t+n} - \ln P^t}{a}$$

Ecuación 8.

donde:

r: tasa de crecimiento anual exponencial o logarítmica

a: amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia

P^{t+n} : población al momento actual

P^t : población al momento inicial o población base o población inicial

ANEXO 6. MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

- Método aritmético: se puede emplear para sistemas con un nivel de complejidad bajo y medio. Supone el crecimiento vegetativo de la población, balanceado por la mortalidad y la emigración. Se emplea la siguiente ecuación para proyectar la población (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010):

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc})$$

Ecuación 9.

donde:

P_f : población correspondiente al año a proyectar

P_{uc} : población del último censo

P_{ci} : población del censo inicial

T_f : año correspondiente al año a proyectar

T_{uc} : año correspondiente al último censo

T_{ci} : año correspondiente al último inicial

- Método geométrico: este método es útil en poblaciones con un apreciable desarrollo debido a la importancia de la actividad económica y además que dispone de áreas para la expansión. También se puede implementar en sistemas con un nivel de complejidad bajo y medio. Se utiliza la ecuación (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2010):

$$P_f = P_{uc} \times (1 + r)^{(T_f - T_{uc})}$$

Ecuación 10.

Y r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal dada por:

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

Ecuación 11.

donde:

P_f : población correspondiente al año a proyectar

P_{uc} : población del último censo

P_{ci} : población del censo inicial

T_f : año correspondiente al año a proyectar

T_{uc} : año correspondiente al último censo

T_{ci} : año correspondiente al último inicial

- Método logarítmico: es recomendado para poblaciones que muestran desarrollo con abundantes áreas de expansión. Para el cálculo se requiere información de al menos los últimos tres censos, ya que es necesario calcular el promedio de las tasas de crecimiento de la población. Se requieren las siguiente ecuaciones:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})}$$

Ecuación 12.

Y k es la tasa de crecimiento de la población, que es calculada como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Ecuación 13.

donde:

P_f : población correspondiente al año a proyectar

P_{ci} : población del censo inicial

P_{cp} : población del censo posterior

P_{ca} : población del censo anterior

T_f : año correspondiente al año a proyectar

T_{ci} : año correspondiente al último inicial

T_{cp} : año correspondiente al censo posterior

T_{ca} : año correspondiente al censo anterior

ANEXO 7. FÓRMULAS PARA EL DISEÑO DEL DESARENADOR

Para el diseño del desarenador se emplearon las fórmulas descritas a continuación (OPS, 2005).

1. Es necesario conocer la siguiente información inicial:

- Caudal de diseño (QD)
- Densidad de las partículas (ρ_s)
- Densidad del agua (ρ_w)
- Diámetro de las partículas (d)
- Temperatura del agua (T)

2. Cálculo de la velocidad de sedimentación para el régimen de transición ($1 < Re < 50$):

$$V_s = \frac{g^{0,8} \times \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right)^{0,8} \times d^{1,4}}{10 \times \nu^{0,6}}$$

Ecuación 14.

Para la viscosidad cinemática se tiene:

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

Ecuación 15.

donde:

V_s = Velocidad de sedimentación de la partícula en m/s

g = Aceleración de la gravedad en m/s^2

ρ_s = Densidad de partículas en kg/m^3

ρ_w = Densidad del agua en kg/m^3

d = Tamaño o diámetro de partícula en m

ν = Viscosidad cinemática en m^2/s

T = Temperatura en °C

3. Verificación del número de Reynolds ($1 < Re < 50$):

$$Re = \frac{V_s \times d}{\nu}$$

Ecuación 16.

donde:

Re: número de Reynolds

V_s = Velocidad de sedimentación de la partícula en m/s

d = Tamaño o diámetro de partícula en m

ν = Viscosidad cinemática en m^2/s

4. Velocidad de sedimentación crítica (V_{sc}):

Se considera un factor minorante (f) entre el 10% y 30%, siendo el valor máximo el que representa mayor seguridad.

$$V_{sc} = \frac{V_s}{f}$$

Ecuación 17.

donde:

V_s = Velocidad de sedimentación de la partícula en m/s

f: factor minorante

5. Área superficial:

$$A_s = \frac{Q}{V_{sc}}$$

Ecuación 18.

donde:

Q: caudal en m³/s

V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica de la partícula en m/s

6. Para las dimensiones se considera un ancho (B) mínimo de 0,60 m, profundidad (H) efectiva mínima de 0,50 m y una relación largo / ancho de 7 a 12.

7. Cálculo de la velocidad de escurrimiento horizontal (V_h):

$$V_h = \frac{Q}{B \times H}$$

Ecuación 19.

donde:

Q: caudal en m³/s

B: ancho en m

H: altura en m

8. Se debe evitar la resuspensión de las partículas, para lo cual la velocidad de arrastre (V_a) debe ser mayor a la velocidad de escurrimiento horizontal (V_h), $V_a > V_h$.

$$V_a = \sqrt{40 \times (\rho_s - \rho_w) \times g \times \frac{d}{(3 \times \rho_w)}}$$

Ecuación 20.

donde:

V_a = Velocidad de arrastre de la partícula en m/s

g = Aceleración de la gravedad en m/s²

ρ_s = Densidad de partículas en kg/m³

ρ_w = Densidad del agua en kg/m³

d = Tamaño o diámetro de partícula en m

9. Cálculo de la velocidad de sedimentación crítica en el desarenador (V_{sc}):

$$V_{sc} = \frac{Q}{B \times L}, \quad A_s = B \times L$$

Ecuación 21.

donde:

Q: caudal en m^3/s

B: ancho en m

L: largo en m

As: área superficial m^2

10. Se debe cumplir la relación de proporcionalidades: $L/H = V_h / V_{sc}$

ANEXO 8. FÓRMULAS PARA EL DISEÑO DEL FIME

Seguidamente se describe las fórmulas empleadas para la determinación de las dimensiones de cada componente de la FiME utilizada (OPS & CEPIS, 2005b):

- **Filtro Grueso Dinámico (FGDi)**

1. Se requiere la siguiente información inicial:

Caudal de diseño (QD)

Velocidad de filtración asumida (Vf) (2-3 m/h)

2. Cálculo del número de unidades de filtración requeridas, considerando que el área superficial por unidad (As) debe ser $< 10 \text{ m}^2$ y que como mínimo deben ser dos unidades.

$$A_s = \frac{Q_d}{V_f} = b \times l$$

Ecuación 22.

donde:

Qd = Caudal de diseño por unidad en m^3/h

Vf = Velocidad de filtración asumida en m/h

b = Ancho en m

l = Largo en m

3. Caudal por unidad de filtración (Qd)

4. El ancho (b) se asume

5. El largo (l) se calcula a partir de:

$$l = \frac{A_s}{b}$$

Ecuación 23.

donde:

As= área superficial en m^2

b = ancho asumido en m

6. La altura (Hf) de la unidad está definida por la ecuación 24, determinándose la altura del lecho filtrante con el Cuadro An.1. 1:

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl}$$

Ecuación 24.

donde:

Hls: altura del lecho de soporte en m

Hlf: altura del lecho filtrante en m

Hbl: altura del borde libre en m

7. Verificación de la velocidad superficial de lavado (V_s), que debe estar entre 0,15 – 0,30 m/s.

$$V_s = \sqrt[3]{\frac{3,40 \times Q_L}{b}}$$

Ecuación 25.

donde:

Q_L : caudal disponible para lavado m^3/s

b = ancho asumido en m

• **Filtro Grueso Ascendente en Serie (FGS2)**

1. Se requiere la siguiente información inicial:

Caudal de diseño (Q_D)

Velocidad de filtración asumida (V_f) (0,3 – 0,6 m/h)

2. Cálculo del número de unidades de filtración requeridas, considerando que el área superficial por unidad (A_s) debe estar entre 15 y 25 m^2 y que como mínimo deben ser dos unidades.

$$A_s = \frac{Q_D}{V_f \times N} = b \times l$$

Ecuación 26.

donde:

Q_d = Caudal de diseño en m^3/h

V_f = Velocidad de filtración asumida en m/h

N : número de unidades

b = Ancho en m

l = Largo en m

3. Caudal por unidad de filtración (Q_d)
4. El ancho (b) y largo (l) se calculan a partir de la ecuación 26, considerando unidades cuadradas.
5. La altura (H_f) de cada unidad está determinada por la altura del lecho, la cual se determina siguiendo el Cuadro An.2. 3

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl}$$

Ecuación 27.

donde:

H_{ls} : altura del lecho de soporte en m

H_{lf} : altura del lecho filtrante en m

H_{bl} : altura del borde libre en m

- **Filtro Lento en Arena (FLA)**

1. Se requiere la siguiente información inicial:

Caudal de diseño (QD)

Velocidad de filtración asumida (Vf) (0,1 – 0,3 m/h)

2. Cálculo del área superficial total:

$$A_s = \frac{Q_D}{V_f}$$

Ecuación 28.

donde:

QD = Caudal de diseño en m³/h

Vf = Velocidad de filtración asumida en m/h

3. Determinación del número de unidades de filtración (N):

$$N = 0,5 \times \sqrt[3]{A_s}$$

Ecuación 29.

donde:

As: área superficial total en m²

4. Verificar que el área de sedimentación por unidad (As) debe ser menor a 100 m²

$$A_s = \frac{Q_d}{V_f}$$

Ecuación 30.

donde:

Qd = Caudal de diseño por unidad en m³/h

Vf = Velocidad de filtración asumida en m/h

5. Cálculo del ancho del filtro (b):

$$b = \left[\frac{(N + 1) \times A_s}{2 \times N} \right]^{0,5}$$

Ecuación 31.

donde:

N = número de unidades

As= área superficial en m²

6. Cálculo del ancho del lago (l):

$$l = \left[\frac{2 \times N \times A_s}{(N + 1)} \right]^{0,5}$$

Ecuación 32.

donde:

N = número de unidades

As= área superficial en m²

7. La altura (Hf) de cada unidad está determinada por la altura del lecho, la cual se determina siguiendo el Cuadro 2.4.

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl} + H_s$$

Ecuación 33.

donde:

Hls: altura del lecho de soporte en m

Hlf: altura del lecho filtrante en m

Hbl: altura del borde libre en m

Hs: altura del sobrenadante en m

ANEXO 9. FÓRMULAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

- Volumen de regulación (V_r): considerando que el sistema es por gravedad y que no se cuenta con curvas de consumo se emplea los coeficientes empíricos. Siendo:

$$V_r = C \times QMD \times t_r$$

Ecuación 34.

donde:

C: coeficiente de regulación (0,15 a 0,30 para tanques semienterrados)

QMD: caudal máximo diario en m^3/d

t_r : tiempo de retención en días (mínimo un día)

- Volumen contra incendios (V_i): aun cuando para poblaciones menores a 5000 habitantes el ICCA (2001) no establece un caudal para incendios, y para poblaciones entre los 5 000 y 15 000 habitantes establece un caudal de 8 L/s, se calculó el caudal con la ecuación 35, se puede tomar como referencia un caudal contra incendios de 10 L/s como valor máximo es este tipo de poblaciones.

$$V_i = 3,6 \times Q_i \times t_i$$

Ecuación 35.

donde:

C: coeficiente de regulación (0,15 a 0,30 para tanques semienterrados)

Q_i : caudal de incendio en L/s

t_i : tiempo en horas (2 – 4 h)

- Volumen de reserva (V_{re}): se prevé para realizar reparaciones en los componentes del sistema, mantenimiento o por fallas en el sistema. Se calcula como sigue:

$$V_{re} = 3,6 \times QMD \times t_{re}$$

Ecuación 36.

donde:

QMD: caudal máximo diario en m^3/d

t_{re} : tiempo de reserva en horas (2 – 4 h)