

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

“Diagnóstico y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua
potable de la ASADA de San Antonio de León Cortés” de San Antonio de León Cortés”

Ivannia Garro Ureña

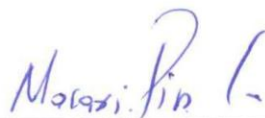
CARTAGO, Septiembre, 2017



"Diagnóstico y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA de San Antonio de León Cortés"

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

Miembros del tribunal



Ing. Macario Pino Gómez
Director



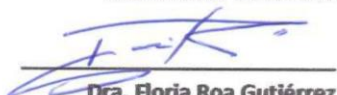
M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Lector 1



Ing. Jorge Calvo Gutierrez
Lector 2



M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Coordinador COTRAFIG



Dra. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química



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

DEDICATORIA

A mis dos Ángeles de la guarda que Dios puso en camino, le dedico este trabajo a mi padre José Luis Garro Mena y a mi madre Eulalia Ureña Barrantes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen de los Ángeles por haberme guiado en estos años de universidad y darme la salud y la fortaleza para continuar perseverando.

A mi familia por todo el apoyo incondicional que brindaron cuando más lo necesitaba.

A mis hermanas Yanci y Priscila por haberme dado su apoyo siempre las amo mucho.

A mi abuelita Vitalina Barrantes Padilla por todos sus chineos durante mi época universitaria, por tenerme presente en sus oraciones siempre muchas gracias.

A mis segundos padres Emilio Garro Mena y Damaris Ureña Barrantes por haberme apoyado desde mi infancia sin ustedes nada sería igual muchas gracias.

A mis segundos hermanos Justin Garro Ureña y Katherine Garro Ureña los amo.

A mi amigo, confidente y novio Juan Quirós gracias por tu apoyo incondicional en estos años de carrera universitaria, gracias por tener siempre una palabra de apoyo cuando más lo necesitaba, gracias por estar ahí siempre junto a mí.

A mi Profesor Macario Pino Gómez, muchas gracias por sus consejos por hacer de mí una mejor profesional.

A la Junta Administrativa de la ASADA de San Antonio de León Cortés gracias por su apoyo incondicional, gracias por acompañarme a las giras de campo por la facilidad con que me brindaron la información requerida, muchas gracias por haber confiado en mí y darme la oportunidad de realizar esta investigación en mi pueblo y devolver un poco lo que ustedes hacen por la comunidad de San Antonio de León Cortés.

A un profesional maravilloso Marco Méndez cocido en la carrera de Ingeniería Ambiental como “Marquito” muchas gracias por su apoyo con el préstamo de equipos y reactivos durante los muestreos, gracias por tener siempre una sonrisa y una actitud positiva de verdad muchas gracias.

Al CEQUATEC por haberme apoyado con reactivos necesarios para los análisis de laboratorio, muchas gracias.

A mis amigos colegas muchas gracias por todo, por los momentos compartidos durante la época universitaria.

Gracias a cada uno de los que estuvo ahí acompañándome en esta etapa de mi vida los amo con todo mi corazón muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	18
Abstract	19
1. introducción	21
Objetivos.....	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos.....	22
2. Revisión de literatura	23
2.1. Aspectos generales	23
2.2. Tipos de plantas de potabilización de agua potable	24
2.2.1. Planta convencional.....	24
2.2.2. FiME.....	26
2.2.2.2. Filtro Grueso (FG).....	28
2.2.2.3. Filtro lento en arena (FLA).....	28
2.3. Legislación nacional.....	29
2.4. Situación actual sobre el recurso hídrico en costa rica.....	30
2.5. Principales indicadores fisicoquímicos y microbiológicos del agua	32
2.5.1. Potencial de hidrógeno (pH).....	32
2.5.2. Turbiedad.....	32
2.5.3. Color	33
2.5.4. Conductividad.....	33
2.5.5. Temperatura.....	33
2.5.6. Coliformes fecales	33
2.5.7. E. Coli.....	34
2.5.8. Olor.....	34
2.5.9. Sabor.....	34
2.6. ASADAs.....	34

3. Materiales y métodos.....	35
3.1. Lugar de estudio	35
3.2. Asada San Antonio de León Cortés.....	36
3.3. Metodología para la evaluación y diagnóstico de la ASADA.....	39
3.3.1. Metodología para la inspección sanitaria	40
3.3.2. Metodología de la encuesta a la comunidad.....	41
3.3.3. Metodología para las visitas de campo.....	42
3.3.4. Metodología del número más probable	45
3.3.4.1. Metodología técnica séptica	45
3.3.5. Metodología para la recolección de las muestras de agua potable y medición de parámetros de control	47
3.3.6. Metodología para la curva de la demanda de cloro	49
3.3.6.1. Análisis de datos.....	50
3.3.7. Métodos establecidos para los análisis de laboratorio.....	50
3.3.8. Oferta de agua del acueducto.....	53
3.3.9. Demanda actual de agua potable del acueducto	53
3.3.10. Proyección de la demanda futura de agua potable	53
3.3.10.1. Proyección poblacional del Acueducto	53
3.3.10.2. Proyección de la demanda futura del recurso hídrico.....	53
3.3.10.3. Escenario futuro de disponibilidad del recurso hídrico	54
3.3.11. Manual de operación del acueducto y propuesta de soluciones	54
4. Resultados y discusión.....	54
4.1. Evaluación y diagnóstico del acueducto.....	54
4.1.1. Resultados Inspección sanitaria.....	54
4.1.1.1. Naciente Los Gamboa 1	55
4.1.1.2. Naciente Los Gamboa 2	55
4.1.1.3. Naciente número tres Los Mata.....	57
4.1.1.4. Naciente Gildo Mena.....	57
4.1.2. Resultados de la encuesta aplicada a los usuarios de la comunidad.....	59

4.1.3.	Parámetros de control monitoreados en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución	62
4.1.3.1.	Turbiedad.....	62
4.1.3.2.	Conductividad.....	63
4.1.3.3.	Análisis microbiológicos	64
4.1.3.4.	Cloro residual libre	65
4.1.3.5.	Potencial de hidrógeno (pH).....	67
4.1.3.6.	Temperatura.....	68
4.1.4.	Curva de punto de quiebre para la Naciente Gildo Mena, Gamboa N°1, Gamboa N°2 y Naciente los Mata	69
4.2.	<i>Oferta y demanda actual y proyecciones</i>	74
4.2.1.	Oferta del recurso hídrico	74
4.2.2.	Consumo actual del recurso hídrico.	75
4.2.3.	Proyección futura de la población.	77
4.2.4.	Proyección de la demanda futura.....	80
4.2.4.1.	Escenario futuro de disponibilidad del recurso hídrico	81
5.	Conclusiones.....	83
6.	Recomendaciones.....	84
7.	Referencias	86
	Apéndices.....	91
	Apéndice 1: Encuesta aplicada a los usuarios de la comunidad.....	93
	Apéndice 2: cuadros de las nacientes del acueducto San Antonio León Cortés	96
	Apéndice 3: Evaluación sersa de las nacientes.....	97
	Apéndice 4: Evaluación sersa de los tanques de almacenamiento	101
	Apéndice 5: Resultados de los parámetros de control en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución	110
	Apéndice 6: Aforo volumetrico en el tanque heiner.	113
	Apéndice 7: Resultados de la proyección de la demanda futura del recurso Hídrico	115
	Apéndice 8: Manual de operación para el acueducto san antonio León Cortés	116
	Apéndice 9: Resultados del escenario futuro de disponibilidad del recurso Hídrico.....	133

Anexos.....	134
Anexo 1: Tabla del número más probable.....	135
Anexo 2: Modelos matemáticos para determinar la tasa de crecimiento poblacional.....	136
Anexo 3: Modelos matemáticos para determinar la proyección de la población.....	137
Anexo 4: Modelos matemáticos para determinar los caudales de diseño y la dotación.....	138
Anexo 5: Machote de bitacora para el cloro residual libre.....	139
Anexo 6: Machote de bitacora para el para el aforo de las nacientes.....	139
Anexo 7: Machote de bitacora para el para el control operativo.....	140
Anexo 8: Resultados del análisis de metales pesados.	141
Anexo 9: Capacitación a los miembros de la junta Administrativa sobre el tema de cloración.	143
Anexo 10: Cotización de un tubidimetro para la asada San Antonio de León Cortés.	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de un acueducto. Tomado de (AyA, n.d.).....	24
Figura 2. Filtro sistemático por gravedad. Tomado de (Edzwald, 2011a)	25
Figura 3. Esquema general de la filtración en múltiples etapas (FiME).Tomado de (Fallas Yamashita, 2014).....	26
Figura 4. Etapas del proceso de la tecnología FiME. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005)	27
Figura 5. Filtro grueso dinámico. Tomado de (Sánchez, 2007)	27
Figura 6. Flujo grueso ascendente en serie. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005).....	28
Figura 7. Filtro grueso ascendente en serie. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005).....	28
Figura 8. Componentes del filtro lento en arena la figura de la izquierda representa la salida y la imagen de la derecha representa la entrada. Tomado de (Sánchez, 2007)	29
Figura 9. Escala de pH ejemplificadas con algunas sustancias comunes a una temperatura de 25 °C. Tomado de (Brown, 2004)	32
Figura 10. Escalas para la medición de la temperatura. Tomado de (Brown, 2004).....	33
Figura 11. Principales aspectos de la gobernabilidad del agua. Tomado de (Monge et al., 2013).....	35
Figura 12. Mapa de ubicación del Acueducto de San Antonio de León de Cortés	36
Figura 13. Catastro de los 212 usuarios del Acueducto San Antonio León Cortés.....	37
Figura 14. Conformación de los miembros de la ASADA de San Antonio de León Cortés	37
Figura 15. Mapa de ubicación de las nacientes del Acueducto San Antonio León Cortés ..	38
Figura 16. Mapa de ubicación de los tanques de almacenamiento del Acueducto San Antonio de León Cortés.....	38
Figura 17. Mapa de ubicación los tres hidrantes y las principales cajas de registro del Acueducto.....	39
Figura 18. Mapa de ubicación de los puntos de control en la red de distribución	40
Figura 19. Clasificación del riesgo para fuentes, tanques de almacenamiento y red de distribución. Tomado de (La Gaceta No.170, 2015)	41
Figura 20. Tamaño de la muestra representativa para la aplicación de la encuesta	42
Figura 21. Metodología para la aplicación de las encuestas.....	42

Figura 22. Mapa de ubicación de los dieciocho puntos de control monitoreados.....	43
Figura 23. Parámetros de control monitoreados en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución	44
Figura 24. Metodología del de número más probable (N.M.P.). Tomado de (Montero, 2013)	45
Figura 25. Técnica séptica: flameo de los tubos de ensayo.....	46
Figura 26. Procedimiento para tomar un inóculo de una muestra: (a) esterilizar el asa, (b) tomar el inóculo y transferirlo al medio de cultivo correspondiente.....	46
Figura 27. Medios de cultivo utilizados en la metodología N.M.P	46
Figura 28. Bolsas estériles utilizadas en la recolección de las muestras de agua potable (la bolsa de la izquierda contiene tiosulfato de sodio).....	47
Figura 29. Desinfección del punto de recolección de la muestra de agua potable	47
Figura 30. Metodología de la recolección de la muestra.....	48
Figura 31. (a) y (b) Medición del parámetro de p-H y (c) medición de la temperatura con termómetro infrarrojo	48
Figura 32. Medición de cloro residual libre realizada en tanques de almacenamiento y red de distribución	49
Figura 33. Dosificación de la disolución de Ácido Tricloroisocianúrico a los once beaker con una concentración de 350 mg/L	49
Figura 34. Procedimiento para la determinación de la curva de la demanda de cloro	50
Figura 35. Ingreso de la naciente Los Gamboa 1, (b) Zona de captación para la naciente Los Gamboa N°1 Y (c) Vista del interior de la captación de la naciente Los Gamboa 1 ...	55
Figura 36. Tubería de rebalse de la Naciente Los Gamboa 2 (imagen de la izquierda) y cajas de registro y línea de conducción de la Naciente Gamboa 2 (imagen de la derecha) ..	56
Figura 37. Interior de las cajas de registro en la naciente Los Gamboa N°2	56
Figura 38. Tanque de filtración con piedra caliza (imagen de la izquierda), tanque plástico (imagen central), actual filtro de piedra caliza (imagen de la derecha).....	57
Figura 39. Zona de captación de la naciente Los Mata	57
Figura 40. Captación naciente Gildo Mena (a) vista frontal y rebalse de la naciente; (b) interior de la captación	58
Figura 41. (a) Cantidad de personas del núcleo familiar de los usuarios encuestados, (b) Encuestados que han notado olor y sabor en el agua potable y (c) Cantidad de usuarios afectados por faltante de agua	60

Figura 42 (a) Encuestados que han identificado turbiedad en el agua potable, (b) frecuencia con la que el agua llegó turbia a los usuarios afectados	60
Figura 43. (a) Cantidad de usuarios con micro-medidores y (b) cantidad de usuarios que conocen el funcionamiento del medidor.....	61
Figura 44. (a) Cantidad de usuarios que conocen la tarifa establecida por la Aresep, (b) usuarios que conocen sobre la calidad de agua potable suministrada por el acueducto	61
Figura 45. (a) cantidad de personas con fugas en el hogar, (b) conjunto de personas que utiliza agua de lluvia.....	61
Figura 46. (a) Grupo de personas que conoce si al agua es clorada, (b) percepción de los usuarios del servicio brindado por el acueducto.....	62
Figura 47. Etapa confirmatoria de Coliformes Fecales: (a) Tubos negativos; (b) y (c) Tubos positivos.....	65
Figura 48. Etapa confirmatoria de E.coli: (a) Tubos negativos; (b) Tubos positivos.....	65
Figura 49. Promedio, mínimo y máximo del cloro residual libre durante el período de octubre de 2016-febrero de 2017.....	67
Figura 50. Curva de punto de quiebre para la Naciente Gamboa 2, elaborada el día 06/04/2017 a partir de una disolución de 350 mg/L	70
Figura 51. Curva de punto de quiebre para la Naciente Los Mata, elaborada el día 06/04/2017 a partir de una disolución de 350 mg/L	72
Figura 52. Curva de la demanda de cloro para la Naciente Gamboa 1, elaborada el día 04/05/2017 a partir de una disolución de 300 mg/L.....	73
Figura 53. Curva de punto de quiebre para la Naciente Gildo Mena, elaborada el día 04/05/2017 a partir de una disolución de 300 mg/L.....	73
Figura 54. Comportamiento del caudal para (a) Naciente Los Mata, (b) Naciente Gildo Mena, (c) Naciente Gamboa 1 y (d) Naciente Gamboa 2 para el año 2014,2015 y 2016.....	75
Figura 55. Comportamiento del consumo total promedio ^a (m ³ /mes) para el sector comercial, residencial e institucional. (a: El consumo total promedio corresponde al consumo promedio por mes multiplicado por la cantidad de usuarios).....	77
Figura 56. Proyecciones de crecimiento poblacional para la comunidad de San Antonio de León Cortés	79
Figura 57. Balance de la oferta y demanda con la estimación de la población calculada con el promedio entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético para el período 2017-2042	81

Figura 58. Balance de la oferta y demanda bajo la metodología del AYA con la estimación de la población calculada con el promedio entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético para el período 2017-2042	82
Figura 59. Frecuencia y cantidad de muestras para el control operativo, N1, N2 y N3 para el acueducto. Tomado de (La Gaceta No.170, 2015).	119
Figura 60. Instrumentos requeridos para medir el cloro residual: medidor de cloro, recipiente de medición y reactivo de DPD (de izquierda a derecha)	119
Figura 61. Procedimiento para determinar el cloro residual en muestras de agua potable.	120
Figura 62. Medición de cloro residual libre realizada en tanques de almacenamiento y red de distribución	120
Figura 63. Ilustración de la preparación de una disolución a partir de una muy concentrada	121
Figura 64. Procedimiento para determinar el parámetro operacional de pH.....	123
Figura 65. Medición del parámetro de pH.....	123
Figura 66. Procedimiento para determinar la turbiedad en muestras de agua potable	124
Figura 67. Tubímetro portátil marca Orbeco-Hellige modelo TB200.....	124
Figura 68. Medición de la temperatura con termómetro infrarrojo.....	125
Figura 69. Ilustración gráfica de la adecuada colocación del recipiente de medición para el aforo.....	125
Figura 70. Equipo básico de seguridad para la colocación de pastillas de cloro.....	126
Figura 71. NFPA del ácido tricloroisocianurico.....	126
Figura 72. Rombo NFPA para productos químicos	127
Figura 74. Alistamiento previo al lavado del tanque de almacenamiento. Tomado de (Colombiana de Salud S.A., 2009).....	130
Figura 75. Plan de trabajo del acueducto San Antonio de León Cortés para el año 201 ...	132

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las principales etapas de una planta de tratamiento convencional. Tomado de (Jorge Arboleda Valencia, 2000; Jorge Arboleda Valencia, 2000)	26
Cuadro 2. Legislación Nacional vigente del recurso hídrico en Costa Rica	29
Cuadro 3. Cobertura de agua potable en Costa Rica para el año 2006. Tomado de (AyA, 2007).....	30
Cuadro 4. Equipos utilizados en la visita de campo	44
Cuadro 5. Métodos estándar de referencia para el nivel 1 del Reglamento para la calidad del agua potable.....	51
Cuadro 6. Métodos estándar de referencia para el nivel 2 del Reglamento para la calidad del agua potable.....	52
Cuadro 7. Métodos estándar de referencia para el nivel 3 del Reglamento para la calidad del agua potable.....	52
Cuadro 8. Nivel de riesgo de las nacientes obtenido con la evaluación SERSA	58
Cuadro 9. Nivel de Riesgo de los tanques de almacenamiento del Acueducto de San Antonio L.C	59
Cuadro 10. Datos resumen de turbiedad para los puntos monitoreados obtenidos de octubre 2016 a febrero de 2017	63
Cuadro 11. Datos resumen de conductividad para los puntos monitoreados obtenidos de octubre 2016 a febrero de 2017	64
Cuadro 12. Datos resumen de cloro residual para los puntos monitoreados de octubre 2016 a febrero de 2017	66
Cuadro 13. Datos resumen de turbiedad para los puntos monitoreados de octubre 2016 a febrero de 2017	68
Cuadro 14. Datos resumen de temperatura para los puntos monitoreados de octubre 2016 a febrero de 2017	69
Cuadro 15. Datos históricos de caudal para las cuatro nacientes en el período de Septiembre 2013-Marzo 2017	74
Cuadro 16. Consumo promedio mensual para el sector residencial, comercial y residencial del acueducto	76
Cuadro 17. Datos de la población de la comunidad de San Antonio de León Cortés. Tomado de (INEC, 2017)	78

Cuadro 18. Datos de la proyección poblacional bajo el modelo aritmético, geométrico y exponencial.....	78
Cuadro 19. Tasas de crecimiento poblacional mediante el modelo aritmético, geométrico exponencial y el promedio.....	79
Cuadro 20. Tiempo de duplicación de la población según la tasa de crecimiento aritmética, geométrica y exponencial	80

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

OMS	Organización mundial de la salud
FiME	Filtración múltiples etapas
FGDi	Filtro grueso dinámico
FLA	Filtración Lenta en Arena
FG	Filtración gruesa
SERSA	Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud
pH	Potencial de hidrogeno
µS/cm	Micro siemens por centímetros
UNT	Unidades Nefelometricas
N.M.P	Metodología del número más probable
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
APACOOOP	Cooperativa de Productores Agrícolas y de Servicios Múltiples de La Zona de Los Santos
ASADA	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
Qmd	Caudal medio diario
QMD	Caudal Máximo Diario
QMH	Caudal Máximo Horario
N1	Nivel Primero
N2	Nivel Segundo
N3	Nivel Tercero
N4	Nivel Cuarto
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MS	Ministerio de Salud

RESUMEN

En Costa Rica, parte de la población es abastecida por acueductos comunales o rurales; no obstante, muchos operan en condiciones vulnerables. Por esta razón, se planteó esta investigación con la finalidad de evaluar y diseñar un plan de mejoras de cada uno de los componentes del acueducto de la ASADA de San Antonio de León Cortés, para ello se realizó un control operacional en 18 puntos de control midiendo pH, turbiedad, temperatura, cloro residual libre, conductividad, coliformes totales, coliformes fecales y E.coli, el monitoreo microbiológico fue realizado mediante la técnica del número más probable, con el monitoreo se determinó que la turbiedad, temperatura y conductividad no presentaron problemas. Además, se encontró la presencia de coliformes fecales y E.coli; así mismo, se obtuvo que el agua es de origen ácido. Por otra parte, se aplicó la metodología SERSA en las captaciones y tanques de almacenamiento, que permitió determinar el nivel de riesgo de cada uno de estos componentes hidráulicos; de igual forma se aplicó un cuestionario semi-estructurado a 125 usuarios, para determinar la percepción de la población en temas asociados al suministro del recurso hídrico. También, mediante la curva de la demanda de cloro, se determinó la dosis óptima de cloro para la totalidad de las nacientes del acueducto. Además, se realizó la estimación de la oferta y la demanda del recurso hídrico para determinar la disponibilidad de agua del acueducto donde se determinó que la oferta del acueducto es de 257048 m³/año, donde solo el 13% del total producido es demandado por la población usuaria del acueducto. También, se determinó que durante en el 2017-2042 no se evidencia faltante de agua según el modelo aritmético, geométrico y exponencial del crecimiento de la población en esta comunidad.

Palabras clave: agua potable, oferta, demanda, cloro.

ABSTRACT

In Costa Rica, part of the population is supplied by communal or rural aqueducts; however, many operate under vulnerable conditions. For this reason, this research was proposed in order to evaluate and design an improvement plan for each of the ASADA aqueduct components of San Antonio de León Cortés, for which an operational control was performed at 18 control points measuring pH, turbidity, temperature, free residual chlorine, conductivity and total coliforms, fecal coliforms and E. coli, microbiological monitoring was performed by the most probable number technique, with monitoring being determined that turbidity, temperature and conductivity did not deliver problems. In addition, the presence of fecal coliforms and E. coli were found; In the same way, the water was obtained from acid. On the other hand, the SERSA Methodology was carried out in the storage tanks and storage tanks, which determines the level of risk of each of these hydraulic components; a semi-structured questionnaire was also applied to 125 users to determine the population's perception of the issues associated with water supply. Also, through the chlorine demand curve, the optimal chlorine dose was determined for all the properties of the aqueduct. In addition, the supply and demand of the water resource was estimated to determine the water availability of the aqueduct, where it was determined that the supply of the product is 257048 m³ / year, where only 13% of the total produced by the population user of the aqueduct. Also, it was determined that during 2017-2042 no water shortage was evidenced according to the arithmetic, geometric and exponential model of population growth in this community.

Key Word: Drinking water, supply, demand, chlorine.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada el disolvente más común y más importante en el planeta tierra, posee una excepcional capacidad para disolver una gran cantidad de sustancias, provocando una amplia gama de equilibrios químicos en las disoluciones formadas (Tehodore, Bursten, & LeMay, 2004).

Aunque el agua que cubre nuestro mundo más del 97% es salada, 2% es agua congelada dejando solo el 1% para la sobrevivencia humana, en el mundo más de 300 millones de personas obtienen agua del mar o de aguas subterráneas demasiado saladas para beber, dos terceras partes del agua dulce se utiliza para cultivar alimentos, además el 46% de las personas a nivel mundial carecen de agua entubada en sus hogares y 3,3 millones mueren por problemas de salud relacionados con el agua (National Geographic, 2010).

En Costa Rica se cuenta con altas coberturas de prestación del servicio de agua potable; no obstante, existen deficiencias en la planificación e inversión de nueva infraestructura, la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado le corresponde al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados; además existen otras instituciones cuya función es fiscalizar y regular el recurso hídrico como: la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Ministerio de Salud (MS), entre otras. El que varias instituciones intervengan en la rectoría del recurso hídrico provoca conflictos de responsabilidad con lo que respecta a la planificación y prestación del servicio de agua potable (Organización Panamerica, 2004).

La ASADA de San Antonio abastece una población de más de 1000 habitantes por medio de conexiones intradomiciliarias, ante la situación encontrada en el acueducto 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, así mismo se realizó un monitoreo de control que permitió conocer el nivel de calidad de las fuentes de agua potable mediante muestreo de las fuentes que abastecen el acueducto, análisis físico químico y microbiológico. También se realizó una georreferenciación de los componentes hidráulicos del acueducto, unos de los principales problemas encontrados fue el tema de la cloración para ello se determinó la dosis optima de cloro para mejorar el nivel de cumplimiento de la legislación nacional. Además, se observó la falta de capacitación en seguimiento de parámetros de control por dicho motivo se elaboró un manual de operación que sirviese como referencia para el personal actual y futuro del acueducto.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar y diseñar un plan de mejoras de cada uno de los componentes del acueducto de la ASADA de San Antonio de León Cortés.

Objetivos específicos

- Realizar una evaluación de los componentes hidráulicos mediante la herramienta SERSA, muestreos de agua potable y sondeos a la comunidad que permitan determinar su conocimiento del acueducto.
- Establecer las proyecciones de la oferta y demanda que permitan establecer la disponibilidad de agua que tiene el acueducto.
- Elaborar un manual de operación sobre la frecuencia, mediciones, y análisis que sean requeridos en las nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución de agua potable, proponiendo soluciones técnicas que permitan mejorar el desempeño actual de la ASADA.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales

El agua es uno de los recursos más valiosos en el mundo, Costa Rica es un país privilegiado al contar aún con gran cantidad de fuentes de agua como ríos, nacientes, quebradas y arroyos; no obstante, se encuentran vulnerables ante problemas como la deforestación la contaminación y el cambio climático, actualmente el 94,2 % de la población recibe agua intra-domiciliaria o por medio de un acueducto (Valverde, 2013). Mientras tanto en otros países del mundo “1800 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces”(Organización Mundial de la Salud, 2015).

Muchas campañas se han llevado a cabo en Costa Rica para mejorar temas como saneamiento, como el tratamiento de aguas residuales y el adecuado manejo de los residuos sólidos que ponen en riesgo el recurso hídrico del país; no obstante, aún hace falta muchos aspectos a mejorar en infraestructura para lograr un adecuado manejo y protección del recurso hídrico.

Finalmente “*el agua es el principal y más estratégico recurso para el sostén de la vida. Por ello, en cualquier sociedad, las decisiones que se toman con respecto al agua son de crucial importancia para la vida de las personas*”(Monge, Paz, & Ovares, 2013).

Los acueductos pueden contar con tres tipos de fuentes de agua: nacientes manantiales, pozos y ríos o quebradas. Cuando la fuente de agua es un río o quebrada generalmente se cuenta con: una captación, desarenador, una línea de conducción (bombeo o gravedad), tanque quiebra gradientes, una planta de potabilización convencional (coagulación- floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución); no obstante, cuando las características del agua lo permitan se pueden implementar la tecnología Filtración Múltiples Etapas (FiME). Cuando el acueducto tiene fuentes de agua de nacientes o manantiales los principales componentes hidráulicos son: zona de captación, línea de conducción (bombeo o gravedad), tanques quiebra gradientes, desinfección, almacenamiento (PVC o de concreto) y redes de distribución. Todo acueducto debe contar con hidrantes y sistemas de micro y macro medición (AyA, n.d.). En la Figura 1 se ilustra un esquema general de los componentes de un acueducto.

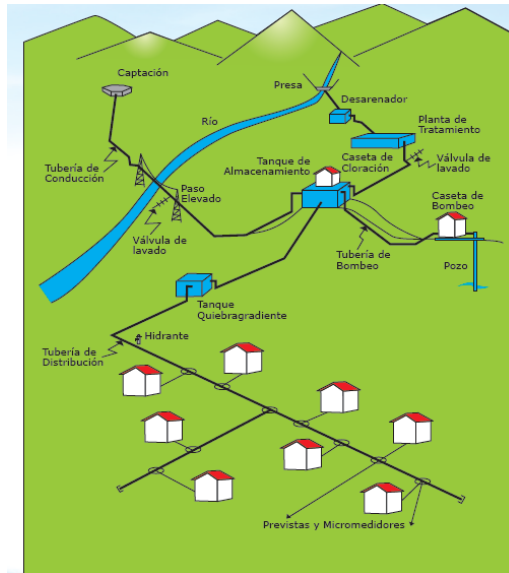


Figura 1. Esquema general de un acueducto. Tomado de (AyA, n.d.)

2.2. Tipos de plantas de potabilización de agua potable

Una planta de potabilización de agua es el “conjunto de estructuras y/o dispositivos, destinados a dotar el agua de la fuente de la calidad necesaria para el consumo humano, es decir potabilizarla a través de diferentes procesos como: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, desinfección”(La Gaceta No.170, 2015). Los tipos de plantas de potabilización se pueden clasificar en dos tipos distintos de tecnología los cuales son: plantas convencionales, filtración múltiples etapas (Fallas Yamashita, 2014).

2.2.1. Planta convencional

Una planta de tratamiento de agua potable convencional está constituida por los procesos de coagulación- floculación, para ello se utilizan coagulantes que se pueden clasificar en dos grupos: los poli-electrólitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos, ambos tipos de coagulantes cumplen la función de desestabilizar las partículas y generar que la partículas se aglomeren y formen los flocs, los principales tipos de coagulantes utilizados son sales de hierro y aluminio (Jorge Arboleda Valencia, 2000).

Posterior a la coagulación-floculación se da la sedimentación mediante cuatro regímenes a continuación se detalla cada régimen:

- **Sedimentación I:** sedimentación de partículas discretas en baja concentración menos de 1% se logra sedimentar con la floculación y otros efectos entre partículas.
- **Sedimentación II:** Sedimentación de las partículas en una concentración baja menos de 8%. A medida que se produce la unión de las partículas, aumentan los tamaños de partículas y estas depositan más rápidamente.

- **Sedimentación III:** la concentración de partículas es superior al 8 % que causa efectos entre partículas, por lo que aumentan las fuerzas de interacción y las partículas permanecen suspendidas.
- **Sedimentación IV:** sedimentación de compresión o hundimiento se desarrolla bajo las capas de sedimentación zonal o sedimentación III. La tasa de compresión es dependiente del tiempo y la fuerza causada por el peso de los sólidos anteriores (Edzwald, 2011c).

Los tipos de sedimentadores se clasifican según la dirección del flujo que pueden ser: horizontal, vertical o inclinado con placas (flujo ascendente y descendente) (Jorge Arboleda Valencia, 2000).

Por otra parte, los diversos tipos de filtros utilizados para la eliminación de partículas en la filtración de agua potable se pueden clasificar por varios factores, incluyendo (1) el mecanismo predominante para la eliminación de partículas, (2) el medio de filtración y equipos utilizados, (3) la tasa de filtración. Los filtros pueden tener un flujo ascendente o descendente y pueden funcionar por gravedad o por presión (véase la Figura 2), los principales materiales utilizados en los filtros son: arena, grava, carbón de antracita, sílice (Edzwald, 2011a).

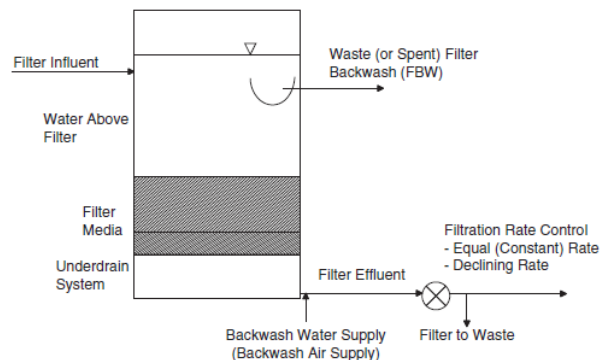


Figura 2. Filtro sistemático por gravedad. Tomado de (Edzwald, 2011a)

La desinfección es el proceso por el cual se eliminan los microorganismos patógenos en el agua que pueden ocasionar enfermedades y riesgos para la salud, existen varios tipos de desinfectantes utilizados en sistemas de abastecimiento de agua potable como lo son: cloraminas, el hipoclorito de sodio, la generación in situ de hipoclorito, el hipoclorito de calcio, el dióxido de cloro, ozono y luz ultravioleta (Edzwald, 2011b).

En el Cuadro 1 se muestran un resumen de las principales etapas que constituyen una planta convencional:

Cuadro 1. Descripción de las principales etapas de una planta de tratamiento convencional. Tomado de (Joge Arboleda Valencia, 2000; Jorge Arboleda Valencia, 2000)

Etapas de tratamiento	Descripción	Ventajas
Coagulación	Es el proceso que inicia una vez que se agrega el coagulante al agua, es una serie de reacciones fisicoquímicas entre el coagulante y el agua.	Permite remover la turbiedad orgánica e inorgánica, así como el color verdadero y aparente; además, elimina bacterias virus y organismos patógenos así como sustancias productoras de olor y sabor.
Floculación	En esta etapa las partículas desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores (flocs).	
Sedimentación	Proceso en el cual los sólidos se encuentran en suspensión son separados del medio líquido por efecto de la gravedad.	Permite eliminar sólidos suspendidos en un fluido debidamente coagulado y floculado.
Filtración	Permite separar las partículas y microorganismos que han quedado en el agua del proceso la etapa de sedimentación y coagulación.	Se puede efectuar con baja y alta carga superficial utilizando medios porosos o granulares, con flujos ascendentes y descendentes.
Desinfección	La desinfección del agua se refiere a la destrucción de los organismos causantes de enfermedades o patógenos (baterías, protozoarios, virus, trematodos).	Garantiza la calidad del agua.

2.2.2. FiME

La filtración múltiples etapas (FiME) es un tratamiento en el cual se pueden utilizar diferentes tipos de filtración como: filtración gruesa dinámica (FDi), filtración gruesa (FG) y filtración lenta en arena (FLA), es utilizada en fuentes de agua con bajos niveles de turbiedad, esta tecnología es confiable y no requiere de sistemas de coagulación-floculación, por lo que su operación y mantenimiento se facilita (Vega Serrano, 2013).

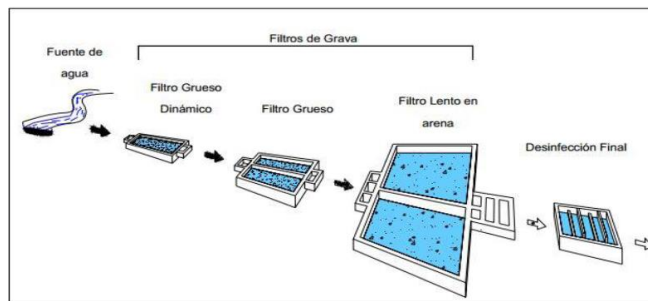


Figura 3. Esquema general de la filtración en múltiples etapas (FiME). Tomado de (Fallas Yamashita, 2014)

En la Figura 3 se muestra el proceso de la FiME que inicia con la captación de la fuente de agua, el agua cruda ingresa al filtro grueso dinámico, sigue al filtro grueso, para luego pasar

por el filtro lento en arena y posteriormente se debe realizar el proceso de la desinfección del agua para eliminar patógenos que ponga en riesgo la salud de la población.

Las etapas que se llevan a cabo en este tipo de tecnología son: (1) separación del material grueso, (2) remoción gradual de materia fina y microorganismos, (3) etapa de desinfección (véase la Figura 4).

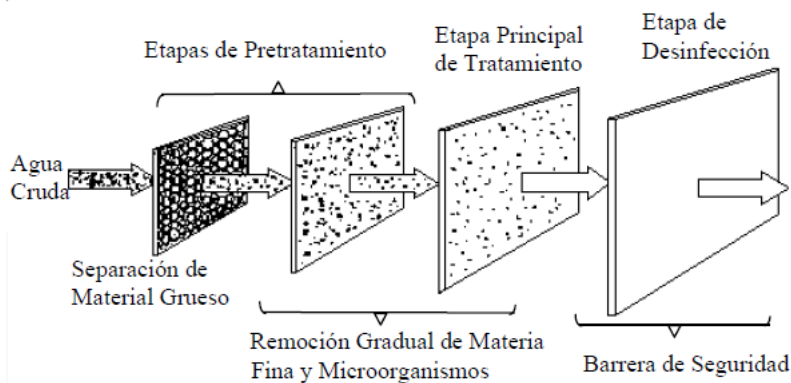


Figura 4. Etapas del proceso de la tecnología FiME. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

2.2.2.1. Filtro grueso dinámico (FGDi)

La filtración gruesa dinámica se puede clasificar en varios tipos: filtros gruesos dinámicos de flujo ascendente, descendente y flujo vertical (Vega Serrano, 2013), el filtro grueso dinámico consta de dos unidades con tres tipos de grava de diferente tamaño, este tipo de filtro mejorara la calidad del agua y reduce el 77% de los sólidos suspendidos, opera a velocidades de filtración de entre 1 y 9 m/h (véase la Figura 5) (Sánchez, 2007). Las capas de grava se constituyen por una grava fina de (6-13mm), sobre un lecho de grava más gruesa (13-25 mm) cuenta con sistema de drenaje en el fondo, con la FGDi se reduce los picos de turbiedad y protege la planta de elevadas cargas de sólidos presentes en el agua cruda. En este filtro se captan los sólidos que se sedimentan fácilmente y quedan depositados en el lecho de grava(Organización Panamericana de la Salud, 2005). En la Figura 5 se ilustra un FGDi.

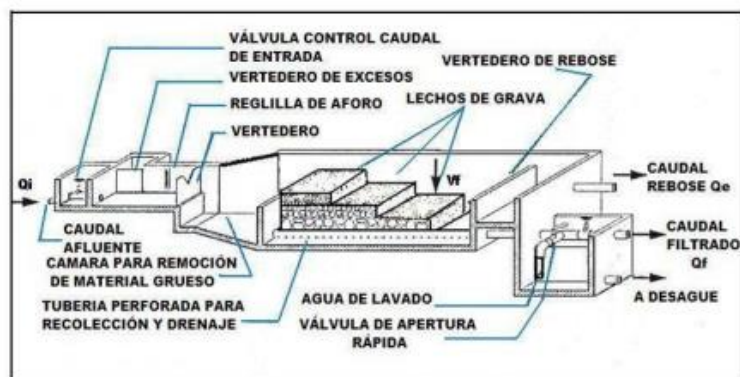


Figura 5. Filtro grueso dinámico. Tomado de (Sánchez, 2007)

2.2.2.2. Filtro Grueso (FG)

Los filtros gruesos se pueden clasificar según la dirección del flujo como: (1) filtro grueso de flujo ascendente constituido por una cámara de entrada, válvula de lavado, sistema de drenaje, lecho filtrante y cámara de salida (véase la Figura 6) (2) filtro grueso de flujo descendente (serie o en paralelo) en el caso de los filtros gruesos de flujo descendente en serie está constituido por una cámara de entrada, tres compartimiento con grava de diferentes tamaños, válvulas de lavado y una cámara de salida (véase la Figura 7) , el material filtrante es grava, el tamaño del material filtrante disminuye en dirección al flujo. Los filtros Gruesos (requieren de una limpieza semanal debido a la colmatación del lecho filtrante, la limpieza es llevada a cabo mediante con las válvulas de salida (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

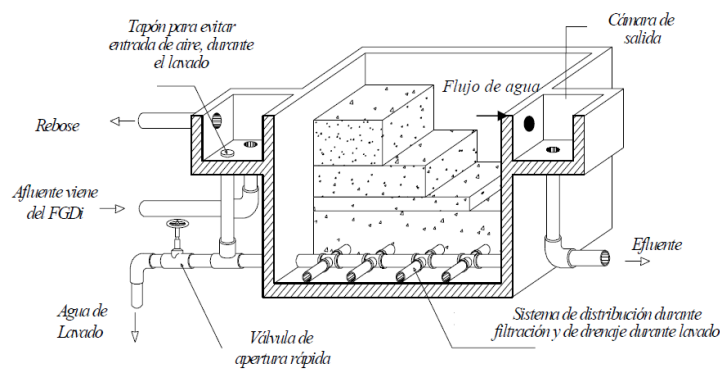


Figura 6. Flujo grueso ascendente en serie. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

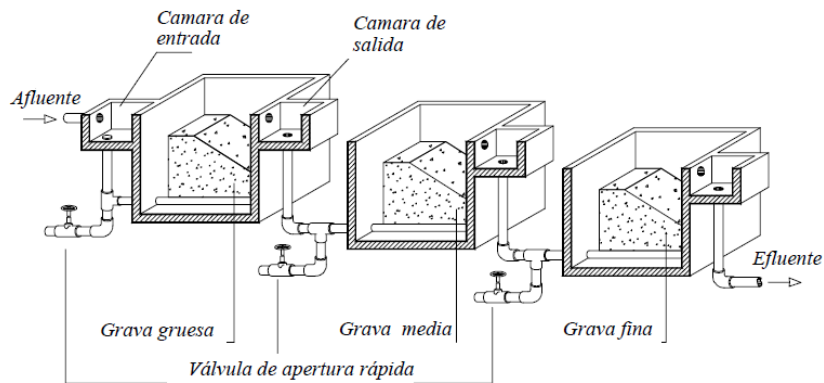


Figura 7. Filtro grueso ascendente en serie. Tomado de (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

2.2.2.3. Filtro lento en arena (FLA)

Es una estructura que se encuentra conformada por: estructura de entrada, sistema de drenaje, un lecho filtrante, una capa sobrenadante, control del flujo y rebose (véase la Figura 8), en esta filtración se debe mantener caudales controlados para que la filtración se lleve adecuadamente, las velocidades de filtración están en un rango de 0,13 – 0,50 m/h (Sánchez, 2007). La altura del agua que se debe mantener sobre el lecho filtrante puede variar entre

1,00- 1,50 metros, con un borde libre de 0,2-0,3, el vertedero de salida debe estar ubicado a 0,10 metros por encima de la superficie del lecho filtrante (Organización Panamericana de la Salud, 2005). El mantenimiento de FLA consiste en hacer raspados a la capa sobrenadante quitándole de 1 a 3 cm de espesor, luego que se han realizado varios raspados y la profundidad del lecho alcance una profundidad de (0,4 – 0,5 m) se debe llenar nuevamente el filtro con arena (Sánchez, 2007).

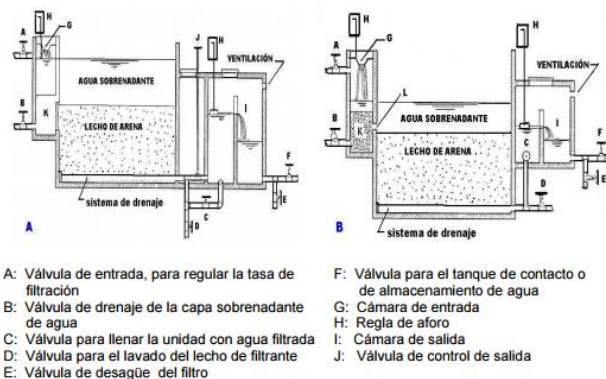


Figura 8. Componentes del filtro lento en arena la figura de la izquierda representa la salida y la imagen de la derecha representa la entrada. Tomado de (Sánchez, 2007)

2.3. Legislación nacional

Costa Rica cuenta con una serie de decretos, reglamentos y leyes que rigen el manejo y protección del recurso hídrico a nivel nacional, las cuales deben ser acatadas por los entes operadores y operadores de acueductos, en este apartado de detalla la legislación nacional relacionada al agua potable y la lista de los principales artículos relacionados a la normativa vigente (véase el Cuadro 2).

Cuadro 2. Legislación Nacional vigente del recurso hídrico en Costa Rica

Nombre	Síntesis de la normativa	Fuente
Ley de Aguas No. 276 de 1942, Congreso Constitucional de la República de Costa Rica.	Esta ley fue aprobada en el año de 1942 y consta de catorce capítulos en los cuales se detallan cuales fuente de agua son de dominio del estado y cuales son de dominio privado, aprovechamiento de agua para consumo, riego y navegación	(El Congreso Constitucional de la República de Costa Rica., 1942)
Ley General de la Salud No. 5395; 1973	Esta ley está constituida por 395 artículos de los cuales dos son transitorios, en esta ley se establecen todas las pautas a seguir sobre temas relaciones a la salud.	(La Gaceta No.222, 1973)
Ley Forestal No.7575; 1995- República de Costa Rica.	Esta ley tiene como objetivo “ <i>velar por la conservación, protección y administración de los bosques naturales y por la producción, el aprovechamiento, la industrialización y el fomento de los recursos forestales del país</i> ”	(“Ley Forestal No.7575,” 1995)

Ley del Sistema Nacional para la Calidad No. 8279; 2002- República de Costa Rica.	Con la esta ley es posible establecer el Sistema Nacional para la Calidad, como marco estructural para las actividades vinculadas al desarrollo y la demostración de la calidad, que facilite el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de evaluación.	(La Gaceta No.96, 2002)
Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales No 32529-S-MINAE ; 2005.	Este reglamento se encuentra constituido por xv capítulos, dentro de los cuales se establece el adecuado manejo, conformación, administración, así como los deberes y atribuciones de la ASADA; así mismo se establece los lineamientos a realizar para la protección del recurso hídrico administrado.	(La Gaceta No.150, 2005)
Reglamento para la Calidad del Agua Potable No. 38924-S-Ministerio de Salud; 2015.	Este reglamento se encuentra dividido en cuatro capítulos y con la aprobación de este reglamento es posible establecer los niveles máximos que deben tener aquellos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua que impliquen un riesgo para la salud, además establece la frecuencia mínima para realizar los análisis, así como el número de las muestras que son necesarios. En este reglamento se establece de manera obligatoria a los entes administradores del recurso hídrico a realizar el seguimiento del control operacional, realizar semestralmente los análisis de N1 y presentar los reportes operacionales.	(La Gaceta No.170, 2015)

2.4. Situación actual sobre el recurso hídrico en costa rica

Costa Rica cuenta con varios entes administradores del agua potable como lo son las ASADAS, AyA, municipalidades y las CAAR (Comités de Acueductos Rurales) la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y acueductos privados (Vega & Vega, 2004).

A continuación, en el Cuadro 3 se detalla la cantidad de entes administradores y la población que es atendida por cada uno de ellos.

Cuadro 3. Cobertura de agua potable en Costa Rica para el año 2006. Tomado de (AyA, 2007)

Ente administrador	Cantidad de acueductos	Población cubierta		Población con agua potable	
		Población	Porcentaje	Población	Porcentaje
AyA	179	2.052.765	46,50	2.024.826	98,60
Municipalidades	239	769.038	17,40	539.110	70,10
E.S.P.H.	12	205.486	4,70	204.838	99,70
CAAR's/ ASADAS	1623	1.052.394	23,80	622.372	59,10
*					
CAAR's/ ASADAS	186	76.516	1,70	45.221	59,10
**					
Sub-total	2.235	4.156.199	94,20	3.436.367	82,70

Fácil acceso, urbanizaciones y privados ***	---	176.507	4,00	147.647	82,70
Sin información	---	79.319	1,80	---	---
Total	2.235	4.412.665	100	3.594.525	81,20

* Estimación fundamentada en el Programa de Vigilancia 2004-2006.

En el Cuadro 3 se puede observar que el principal ente administrador del recurso hídrico es el AyA con una población cubierta del 46,50% y el 98,60% con agua potable, que corresponde a 2.024.826 habitantes recibe agua de calidad potable y solo un 1,4% de la población recibe agua de calidad no potable, en el caso de las CAAR's/ ASADAS existen 1809 acueductos que abastecen un total de 1.128.910 habitantes es decir el 25,50% de la población total, donde solo el 59,10% de esa población recibe agua potable, el restante 41% de la población cubierta por las CAAR's/ ASADAs reciben agua de calidad no potable.

Costa Rica ha presentado una seria problemática por contaminación de metales pesados, nitratos y de agroquímicos en las fuentes de agua. Actualmente son 23 metales pesados que representan una amenaza para la salud humana, entre los principales se encuentran As (Arsénico), Cd (Cadmio), Pb (Plomo), Cr (Cromo), Cu (Cobre), Hg (Mercurio), y Ni (Níquel), en el caso de del As está relacionado con el riesgo de cáncer y daños en la piel, mientras Cd está vinculado a daño renal y cáncer (Chowdhury, Mazumder, Al-Attas, & Husain, 2016). Una de las principales provincias afectadas por la contaminación con Arsénico fue Guanacaste donde alrededor de 11600 habitantes se vieron perjudicados debido a la presencia de este metal pesado en las fuentes de abastecimiento de agua potable (López, 2013). No obstante; en el caso de la provincia de Cartago no se ha presentado contaminación por arsénico a pesar de contar con suelos de origen volcánico (Montero Campos *et. al*, 2010)

Costa Rica contó con una disponibilidad de agua para el año 2005 de más de 110.000 millones de m³ de agua y una disponibilidad per cápita superior a los 31.300 m³/persona por año; sin embargo, el 17 % de la población costarricense obtiene agua de calidad no potable (800.000 habitantes aproximadamente) (Valverde, 2013).

Los problemas de gestión del agua en Costa Rica son principalmente atribuidos a causa de: (1) la gobernabilidad ya que no existe una legislación y una institución que centralice el control total del recurso hídrico, (2) uso del territorio, este es un aspecto importante debido a que muchas municipalidades no cuentan con el plan de ordenamiento territorial lo que ha provocado la construcción de edificaciones en zonas de recarga hídrica por ejemplo, (3) rezago en inversiones existe un faltante en el mejor manejo del recurso, otros problemas asociados son el (4) cambio climático, (5) problemas en la distribución y (6) aprovechamiento así como problemas de contaminación del agua (Echeverría & Cantillo, 2013).

Costa Rica se ha visto afectado por el fenómeno del niño el cual genero una época de sequía que para el año 2014 “ocasionó un descenso mayor al 17% proyectado por el AyA en las fuentes de abastecimiento, y por ejemplo en el mes de marzo superó el 45% de los servicios

de la GAM” lo que implicó racionamientos por parte de los entes administradores del recurso y afectación a los usuarios (Estado de la Nación, 2014).

Uno de los principales retos con respecto al manejo de recurso hídrico es la aprobación de la nueva ley de aguas, debido que la ley vigente data del año 1942 (véase el Cuadro 2) en la cual se tienen una serie de limitantes, uno de ellos es el tema de las sanciones debido a que se requieran de mayores sanciones y castigos para quienes generen un daño que implique un riesgo para las zonas de abastecimiento del agua y que por ende perjudique la salud de las personas involucradas.

2.5. Principales indicadores fisicoquímicos y microbiológicos del agua

En este apartado se detallan las principales pruebas físicas-químicas y microbiológicas que implica un monitoreo continuo y sistemático para los entes administradores y operadores del agua potable según lo establece el “Reglamento para la calidad de agua potable del año 2015” (La Gaceta No.170, 2015). A continuación, se detalla una descripción de estos parámetros:

2.5.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Indica la concentración iones hidronio (H_3O^+) o de hidroxilos (OH^-) que determinan el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, su valor varía de 0 a 14, además el pH se puede calcular el logaritmo negativo de la concentración de iones hidronio ($pH = -\log [H_3O^+]$) (Bosque & Higinio, 2006).

En la Figura 9 se ilustra una imagen con una escala del pH, donde se observa que la acidez de una sustancia se da cuando la magnitud del pH varía entre 0-6, neutro cuando es 7 y es básico cuando el pH es de 7-14.

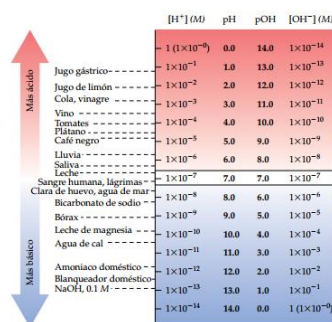


Figura 9. Escala de pH ejemplificadas con algunas sustancias comunes a una temperatura de 25 °C. Tomado de (Brown, 2004)

2.5.2. Turbiedad

La turbiedad es una propiedad óptica que impide el paso de la luz por partículas que se encuentran en suspensión como microorganismos, arcillas, arena y materia orgánica (Fairuz Omar & Mat Jafri, 2013). No obstante; otros autores consideran que la turbiedad es una

disminución en la transparencia del agua por materia orgánica insoluble, este parámetro es medido en unidades de UNT (Unidades nefelométricas de turbiedad) (Komninos, 2009).

2.5.3. Color

El color en agua potable puede deberse principalmente por la presencia de materia orgánica en suspensión, metales como el hierro que generan una coloración rojiza, o bien el color del agua también puede deberse producto del contacto con troncos de árboles y hojas, las unidades de medida son U Pt-Co (Unidades de platino cobalto (para Color)) (La Gaceta No.170, 2015).

2.5.4. Conductividad

La conductividad es la “*habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido*” que depende de la presencia de iones en el agua, permite evaluar la concentración de minerales y sales que se encuentran disueltos en el agua. Las unidades de medida para medir la conductividad son $\mu\text{S/cm}$ (Micro siemens por centímetros) (Lenntech, 2016).

2.5.5. Temperatura

La temperatura se conoce como una medida de calidez o frialdad de un objeto, no obstante la temperatura determina la dirección del flujo de calor (véase la Figura 10), las escalas utilizadas para medir la temperatura son la escala de Celsius, Kelvin y Fahrenheit (Brown, 2004).

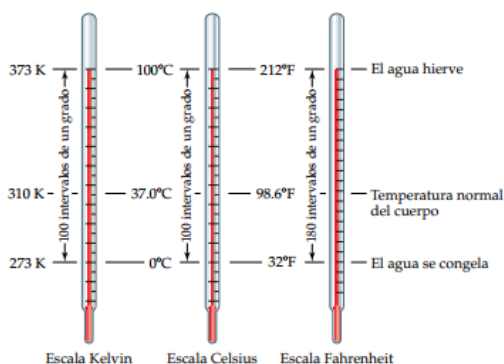


Figura 10. Escalas para la medición de la temperatura. Tomado de (Brown, 2004)

2.5.6. Coliformes fecales

Los organismos del grupo coliformes totales se definen como bacilos Gram (-) aerobios o anaerobios facultativos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35-37°, este grupo de bacterias son los indicadores más comunes para determinar la calidad del agua (Organización Panamericana de la Salud, 1988) y pueden encontrarse en los intestinos tanto del ser humano como de los animales de sangre caliente (Fuccz Gamboa, Gómez Moreno, & Cárdenas Guzmán, 2007).

2.5.7. E. Coli

Escherichia coli es un indicador de contaminación fecal en el agua, es una bacteria gram-negativa que puede encontrarse en la flora del tracto gastrointestinal y ocasiona infecciones urinarias, diarreas, y meningitis en neonatales (Torres, 2010).

2.5.8. Olor

Es una propiedad organoléptica y depende de la estimulación de las sustancias con las células receptoras del ser humano, el olor es una propiedad que afecta la calidad del agua potable (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012g)

2.5.9. Sabor

Al igual que olor el sabor es una propiedad organoléptica que se origina por las sensaciones gustativas llamadas amargo, salado, agrio y dulce que resulta de la estimulación química y sensorial de los nervios ubicados en la lengua, es un parámetro cualitativo (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012i).

2.6. ASADAs

Las Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales conocidas como ASADAs suministran el 24,30% del agua potable en Costa Rica (Valverde, 2013) y son órganos locales que se constituyen como asociaciones y tienen la finalidad de brindar el servicio de abastecimiento de agua, se conforman por vecinos (as) de la comunidad (Monge et al., 2013).

En Costa Rica existen aproximadamente 1809 operadores de acueductos y administradores (ASADAs y CAAR's) (AyA, 2007); antes de 1961 el abastecimiento de agua potable era responsabilidad de las municipalidades, con la ley de Creación del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (Ley No. 2726 del 27 de agosto de 1961) esta responsabilidad es derogada al SNAA hoy conocido como AyA en esta ley se estableció que se debía derogar también responsabilidad a organismos locales; es así como surgen las ASADAs en Costa Rica desarrollando labores de interés público y que pueden administrar fondos públicos para beneficio de la misma comunidad; además, tienen gobernabilidad sobre el agua lo que implica que pueden tomar decisiones para garantizar el derecho al recurso hídrico (Monge et al., 2013). En la Figura 11 se ilustra gráficamente el tema de la gobernabilidad de agua que es el uso equitativo, sostenible y eficiente del agua.

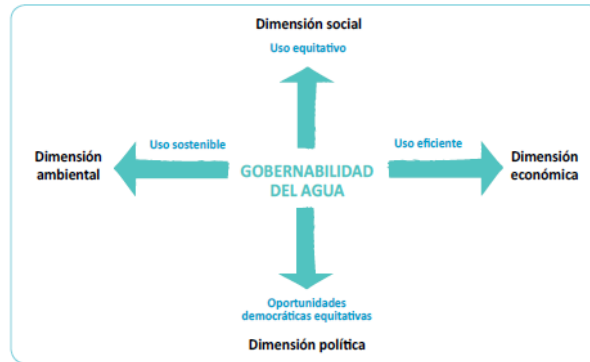


Figura 11. Principales aspectos de la gobernabilidad del agua. Tomado de (Monge et al., 2013)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

El acueducto de San Antonio de León de Cortés se ubica entre las coordenadas Latitud norte 190, Latitud Sur 188, Longitud Oeste 529,5 Longitud Este 530,5, conforme la hoja cartográfica CARAIGRESS N°3345 II, del Instituto Nacional de Costa Rica a escala 1:50.000. De acuerdo a la división territorial de Costa Rica la comunidad de San Antonio de León Cortés está ubicada en la provincia de San José (01), cantón León Cortes (20) y distrito San Antonio (06) (Ingenieros Consultores y Ejecutores de Acueductos S.A, 2011). En la Figura 12 se ilustra la comunidad de San Antonio de León Cortés, la cual limita al norte con el distrito de Frailes de Desamparados, al sur limita con el distrito de San Pablo de León Cortés, al este con el distrito de San Andrés y al oeste con el distrito de Santa Cruz

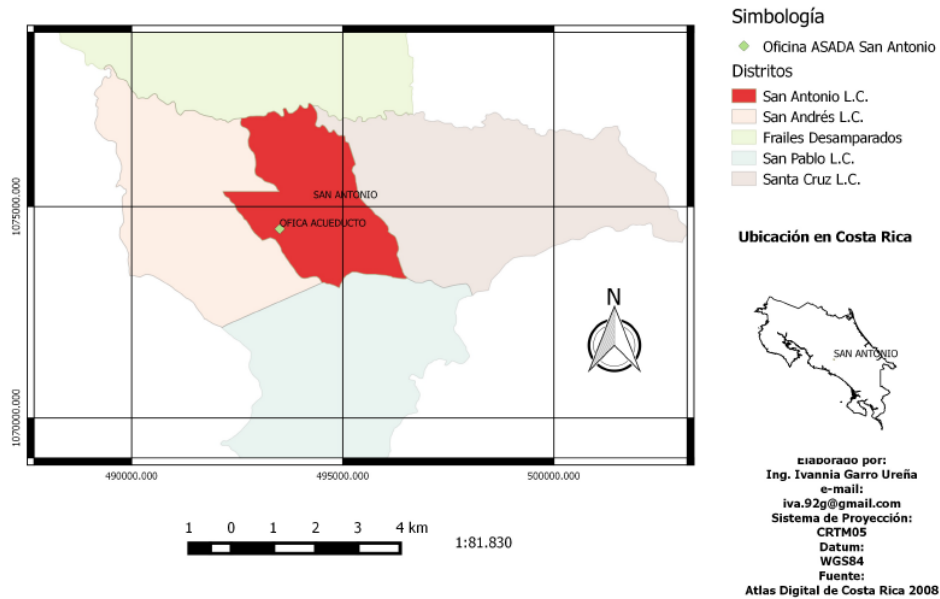


Figura 12. Mapa de ubicación del Acueducto de San Antonio de León de Cortés

3.2.Asada San Antonio de León Cortés

La ASADA de San Antonio de León Cortés fue fundada en el año de 1987, cuenta con 21 hectáreas de bosque para la protección de las nacientes gracias a un convenio con Coopesantos R.L y Coopetarrazú R.L. El acueducto cuenta con facturación y cobro mensual de las tarifas dictadas por la Ley. El mantenimiento y lavado de tanques de almacenamiento se realiza trimestralmente; cuenta con micro-medidores instalados a cada uno de los usuarios de la comunidad, el aforo de las nacientes y lectura de los micro-medidores se realizada el día 26 de cada mes por personal de la ASADA.

El acueducto cuenta con 212 usuarios (véase la Figura 13) y una población total de 1106 habitantes para el año 2011 según (INEC, 2017).Actualmente el acueducto cuenta con cuatro nacientes, nueve tanques de almacenamiento y un filtro de piedra caliza.

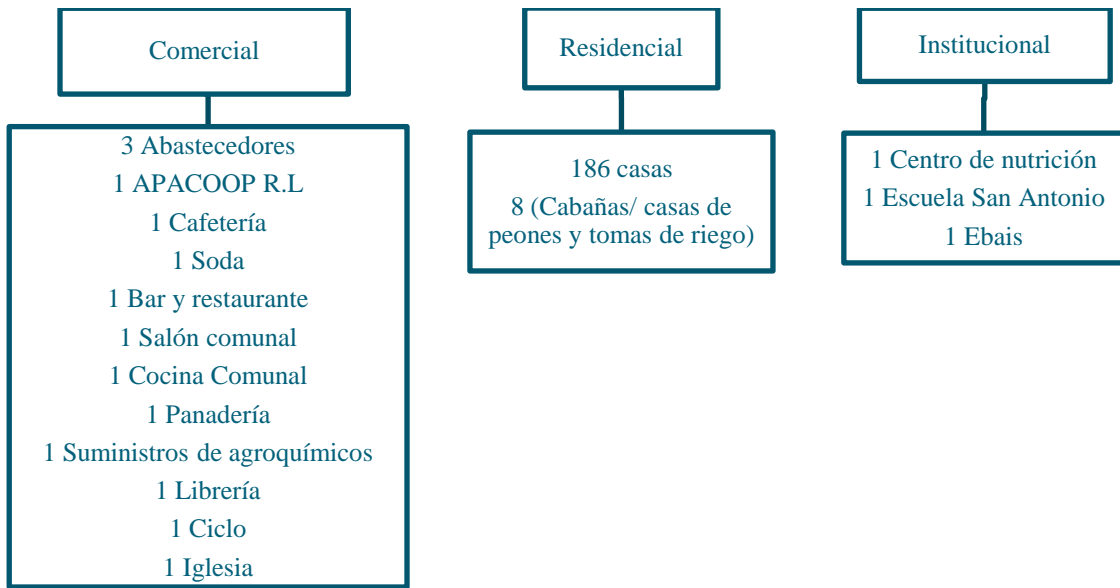


Figura 13. Catastro de los 212 usuarios del Acueducto San Antonio León Cortés

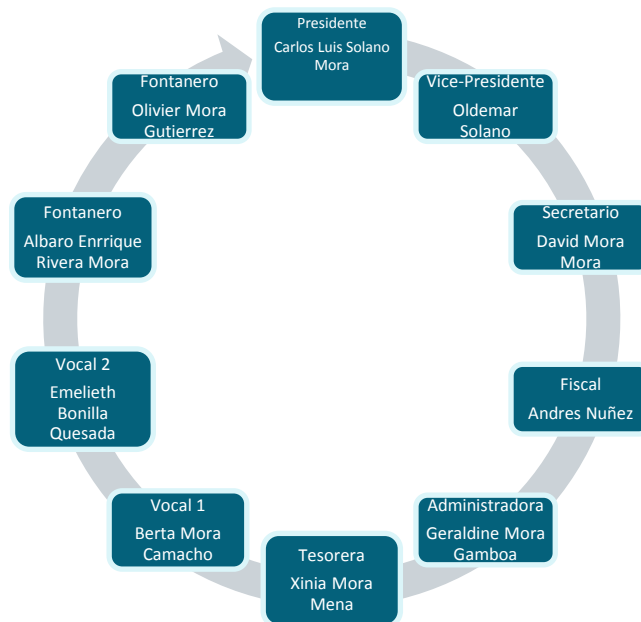


Figura 14. Conformación de los miembros de la ASADA de San Antonio de León Cortés

En la

Figura 14 se muestra la información de la conformación de la junta administradora del Acueducto y personal operativo.

Las cuatro nacientes con las que cuenta el acueducto son conocidas con los siguientes nombres: naciente Gildo Mena, Los Mata, Gamboa 1 y Gamboa 2 (véase la Figura 15).

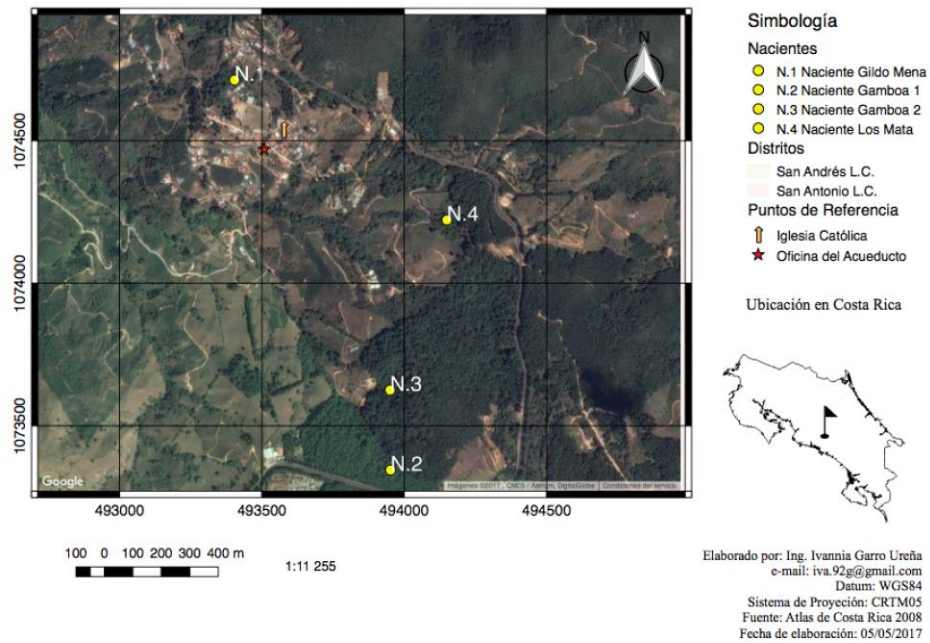


Figura 15. Mapa de ubicación de las nacientes del Acueducto San Antonio León Cortés

En el caso del almacenamiento se cuentan con nueve tanques de almacenamiento que son conocidos con los siguientes nombres: Lelis, Heiner, Rolo, Jubentino 1, Jubentino 2, Jubentino, Próspero, Alicia y tanque William (véase la Figura 16).

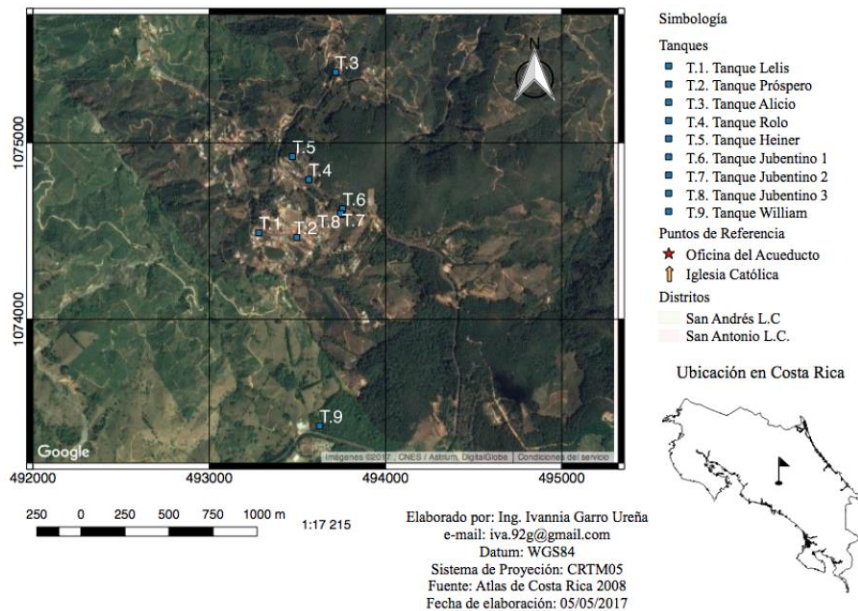


Figura 16. Mapa de ubicación de los tanques de almacenamiento del Acueducto San Antonio de León Cortés

En la Figura 17 se ilustran las principales cajas de registro, así como la ubicación de los tres hidrantes con los que cuenta el acueducto.

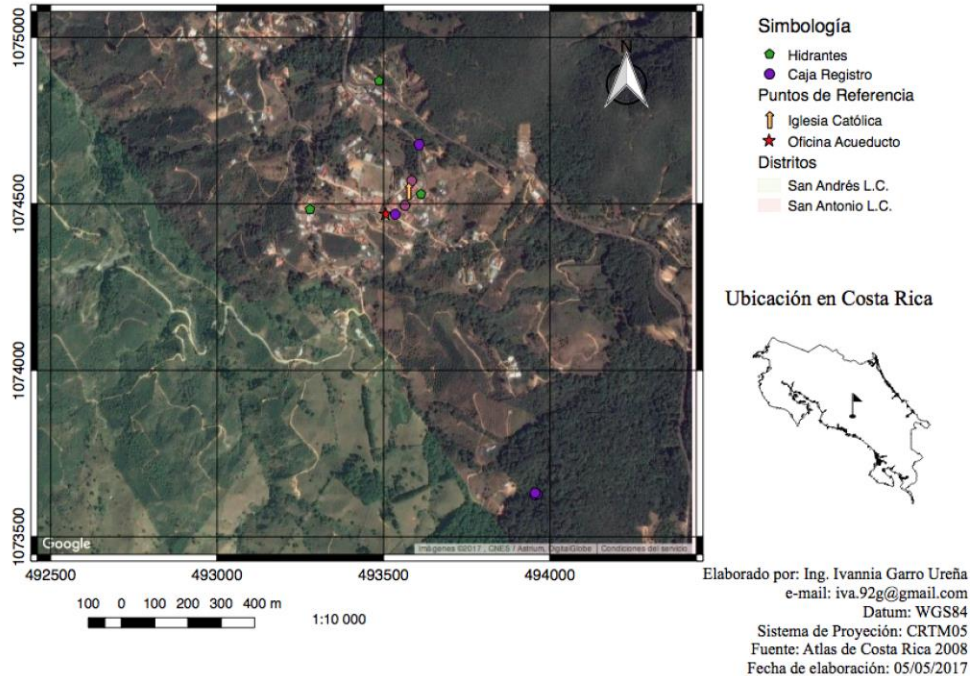


Figura 17. Mapa de ubicación los tres hidrantes y las principales cajas de registro del Acueducto

3.3. Metodología para la evaluación y diagnóstico de la ASADA

Para la evaluación de la ASADA las principales fuentes de los datos fueron las visitas de campo, entrevistas a los miembros de la ASADA, encuestas a la comunidad, muestreos de agua potable en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución; así mismo se realizó una georreferenciación de los puntos de control analizados durante la investigación *nueve* tanques (véase Figura 16), *cuatro* nacientes (véase Figura 15), *un* filtro de piedra caliza y *cuatro* puntos en la red de distribución (véase la Figura 18) considerando un punto cercano y lejano a la cloración, la Escuela San Antonio de León Cortés y el Centro de Nutrición; además, de los hidrantes y cajas de registro (véase Figura 17) . En los siguientes apartados se detalla las metodologías aplicadas para realizar la evaluación del acueducto.

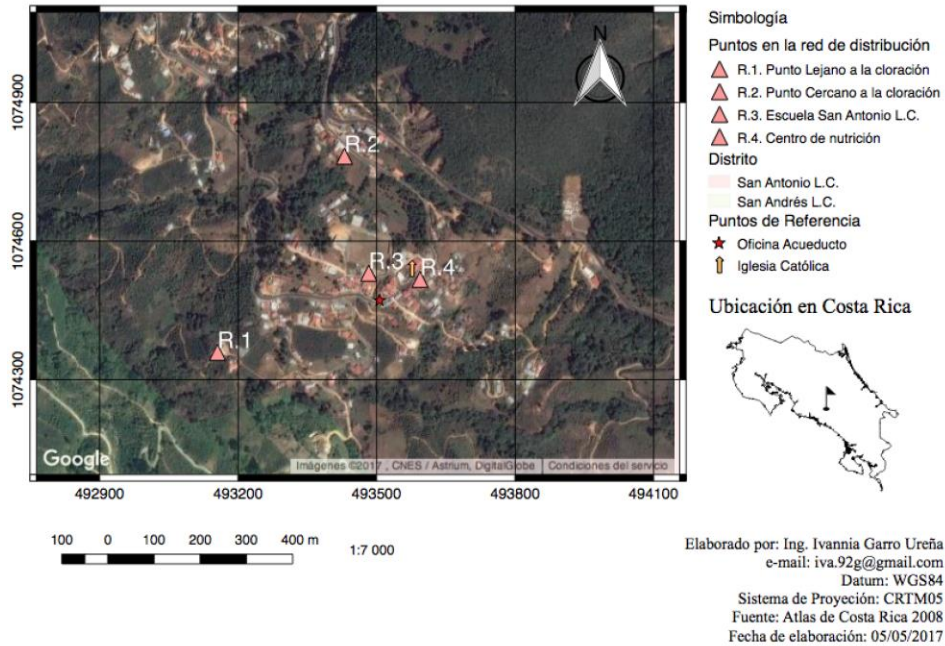


Figura 18. Mapa de ubicación de los puntos de control en la red de distribución

3.3.1. Metodología para la inspección sanitaria

La herramienta SERSA permite realizar inspecciones sanitarias “ *que permitan revisar el estado de las diferentes estructuras (captaciones, conducciones, almacenamiento, distribución), de un sistema de abastecimiento de agua potable y del entorno inmediato a las captaciones, para identificar los riesgos que puedan afectar su calidad*” (La Gaceta No.170, 2015). Con esta herramienta se establecieron las condiciones sanitarias del abastecimiento del agua potable, para definir el nivel de riesgo se utilizaron los criterios establecidos en el “*Reglamento para la calidad de agua potable*” que se ilustra en la Figura 19, se utilizó el mismo criterio para las fuentes, tanques de almacenamiento y red de distribución, donde cada respuesta “si” representa el nivel de riesgo. Posteriormente se determinó las recomendaciones en cada componente del acueducto con el resultado de cada evaluación.

Número de Respuestas "SI"	Clasificación de 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

Figura 19. Clasificación del riesgo para fuentes, tanques de almacenamiento y red de distribución. Tomado de (La Gaceta No.170, 2015)

3.3.2. Metodología de la encuesta a la comunidad

El total abonados del acueducto evaluado fue 212, para la aplicación de la encuesta se definió una muestra representativa, para ello se procedió a eliminar de la lista de usuarios las casas vacías y casas para peones habitadas solamente en época de recolección de café, por la fecha de aplicación de la encuesta se encontraban vacías (21/10/2016-01/11/2016), se utilizó una población total de 186 abonados. Según Sampieri (2014) la muestra es un subgrupo de la población o universo en la cual se recolectan datos y debe ser representativo, los tipos de muestra pueden ser: (1) muestra probabilística, (2) muestra no probabilística, para esta investigación se definió una muestra probabilística para que todos los abonados tuvieran la misma probabilidad de ser elegidos y medir el tamaño del error en las encuestas. El procedimiento utilizado para la selección de la muestra probabilística fue: (1) calcular el tamaño de la muestra representativa, (2) seleccionar los elementos muestrales de manera que todos tengan la misma probabilidad de ser elegidos. Por recomendación de Sampieri (2014) para el cálculo de la muestra se utilizó el software STATS™ 2.0 el cual permite calcular con exactitud el tamaño de la muestra, así como generar lista de números aleatorios. En la Figura 20 se muestra el resultado del tamaño de la muestra calculada:

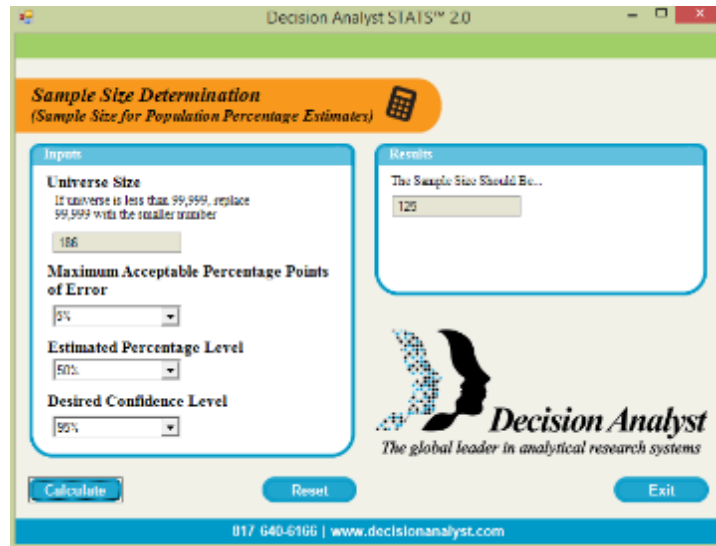


Figura 20. Tamaño de la muestra representativa para la aplicación de la encuesta

Es decir, para un total de abonados de 186 se tuvo que aplicar 125 encuestas, con error aceptable de 5%, un nivel de confianza del 95%. La forma de selección de los elementos muestrales fue solicitar la lista con los abonados al acueducto, posteriormente se enumeraron del 1-186 y con el software STATS™ 2.0 se generó una lista con números aleatorios para seleccionar los 125 abonados. En la Figura 21 se resume la metodología utilizada en la aplicación de la encuesta.

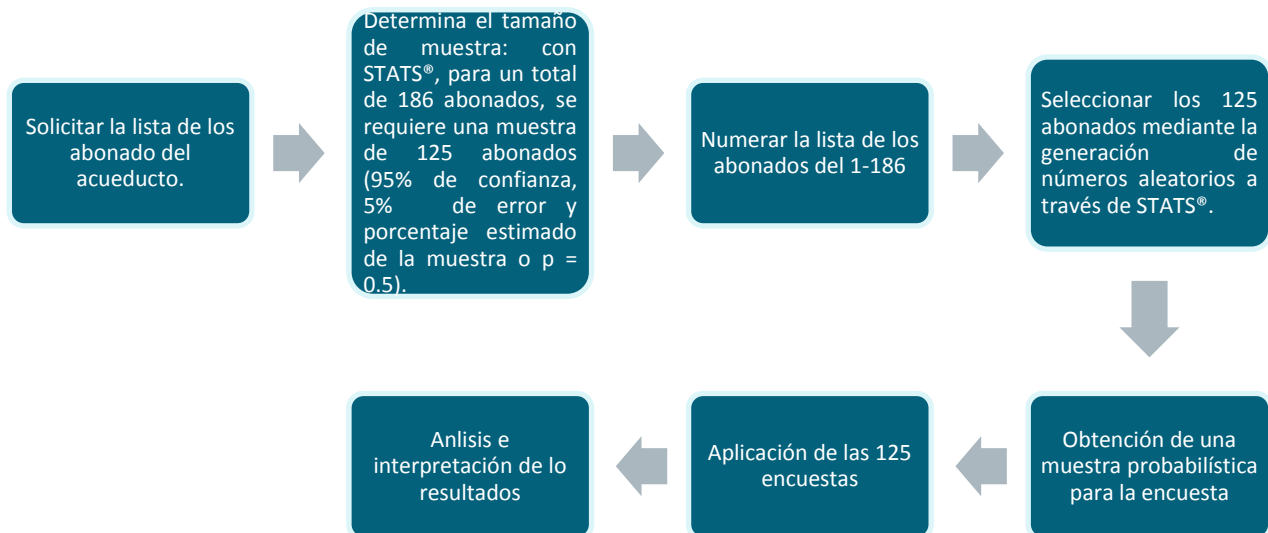


Figura 21. Metodología para la aplicación de las encuestas

3.3.3. Metodología para las visitas de campo

Para las visitas de campo se coordinó con antelación con los miembros de la ASADA para poder llevar a cabo cada gira al lugar, siempre se contó con la presencia de personal de la ASADA; así mismo se coordinó con la carrera de Ingeniería Ambiental para solicitar los

materiales y equipos requeridos. Las actividades llevadas a cabo durante las visitas de campo fueron: (1) aplicar la herramienta SERSA para tanques de almacenamiento, nacientes y red de distribución (véase la sección 3.3.1 de este documento), (2) solicitar información a los miembros de la ASADA los datos de aforos, análisis de laboratorios y demás información que fuera material de apoyo para la investigación, (3) tomar las coordenadas geográficas de los puntos de control monitoreados, utilizando un equipo GPS marca Garmin; (4) aplicar la encuesta a los usuarios para determinar la percepción sobre el abastecimiento del agua potable (véase la sección 3.3.2. de este documento); (5) realizar un control operacional durante un período de cinco meses monitoreando 18 puntos de control : *nueve* tanques, *cuatro* nacientes, *un* filtro de piedra caliza y *cuatro* puntos en la red de distribución considerando un punto cercano y lejano a la cloración, además de la Escuela y el Centro de Nutrición (véase la Figura 22) durante este periodo, se monitoreo el pH, temperatura, cloro residual, turbiedad, conductividad, coliformes fecales y *E.coli*.

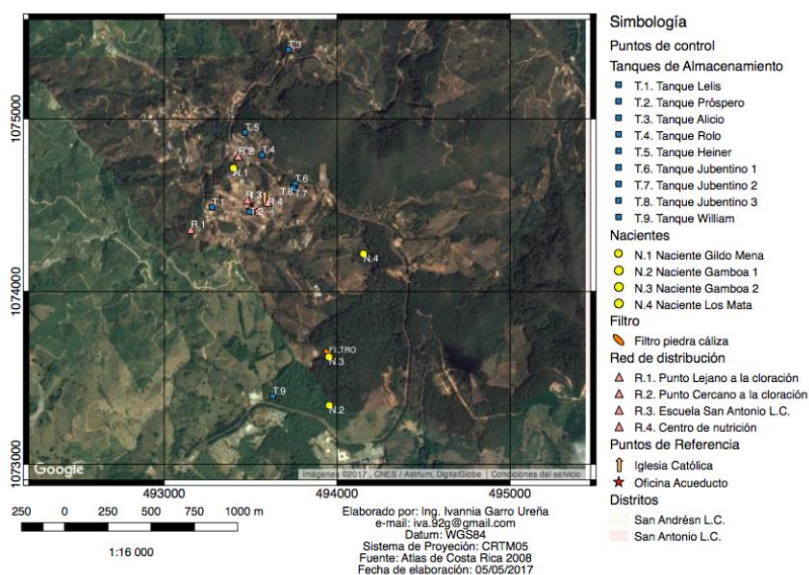


Figura 22. Mapa de ubicación de los dieciocho puntos de control monitoreados









Las mediciones del pH, temperatura y cloro residual se llevó a cabo *in-situ*; en el caso de las pruebas de conductividad, turbiedad y análisis microbiológicos (véase la sección 3.3.4. de este documento) las mediciones fueron realizadas en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Ambiental, estas pruebas fueron realizadas por la autora de esta investigación. En la Figura 23 se ejemplifica de manera concreta el control operacional realizado:



Figura 23. Parámetros de control monitoreados en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución

Los equipos utilizados durante las visitas de campo fueron brindados por la carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica. En el Cuadro 4 se detalla la lista de los equipos utilizados durante la investigación.

Cuadro 4. Equipos utilizados en la visita de campo

Equipo	Imagen	Observaciones	Equipo	Imagen	Observaciones
Conductímetro		Marca: Thermo Scientific. Modelo: Orion 4 Star.	Turbidímetro		Marca: Orbeco. Modelo: TB200 Turbidimeter.
Medidor de cloro		Marca: Hatch.	pH-metro		Marca: Hanna.
GPS		Marca: Garmin.	Incubadora		
Medidor de cloro		Marca: Thermo Scientific. Modelo: Orion AQ3070.	Micro pipeta		Marca: Biopette

3.3.4. Metodología del número más probable

Para el análisis microbiológico de las muestras de agua potable realizado en las nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución, se utilizó la metodología del número más probable (N.M.P) la cual consiste en tomar volúmenes de 10, 1 y 0,1 ml de la muestra, para colocarlos en series de 3 tubos, con volúmenes de 10, 5 y 5 ml de medio de cultivo respectivamente.

La metodología N.M.P se realizó en tres etapas (1) etapa presuntiva dando como resultado la presencia o ausencia de coliformes totales; (2) confirmación de coliformes fecales dando como resultado la presencia o ausencia de coliformes fecales; y finalmente (3) confirmación de *E.coli* (Montero, 2013), la lectura para las tres etapas se realizó con la tabla del N.M.P (véase el Anexo 1). En la Figura 24 se ilustra un diagrama de la metodología del N.M.P:

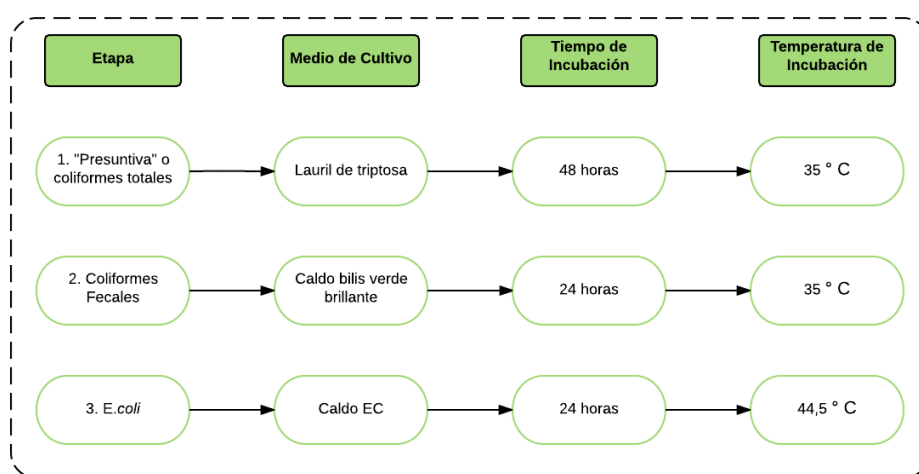


Figura 24. Metodología del de número más probable (N.M.P.). Tomado de (Montero, 2013)

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Microbiología ubicado en el edificio de la Carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica, las actividades ejecutadas para realizar la metodología de N.M.P. fueron:, (1) coordinar la visita de campo con los miembros de la ASADA, (2) solicitar los materiales y los equipos necesarios, (3) preparar y esterilizar los medios de cultivo, (4) realizar la vista de campo, (5) tomar las muestras de agua potable en bolsas estériles, (6) transportar las muestras desde el lugar de estudio hasta el Laboratorio de Microbiología preservando la muestras a 4°C, (7) aplicar la metodología N.M.P. a las 18 muestras en series de tres tubos.

3.3.4.1. Metodología técnica séptica

Para la aplicación de la metodología N.M.P. fue necesario aplicar la técnica séptica, para evitar una contaminación cruzada de las muestras. Esta técnica consistió en (1) desinfectar el área de trabajo con alcohol yodado, (2) hacer un correcto lavado de las manos y desinfección con alcohol yodado, así como el uso de guantes para la manipulación de las muestras, (3) utilizar el mechero encendido en el montaje de las muestras, (4) flamear los tubos de ensayo.



Figura 25. Técnica séptica: flameo de los tubos de ensayo

Otro aspecto que contempla la técnica séptica es esterilizar el asa (instrumento para tomar inóculos de las muestras) con el mechero antes y después de tomar el inóculo, la forma de esterilizar fue colocando el asa directamente en el mechero hasta que se observó de una coloración rojiza (Montero, 2013). En la Figura 26 se ilustra la forma de esterilizar el asa y tomar un inóculo de la muestra.

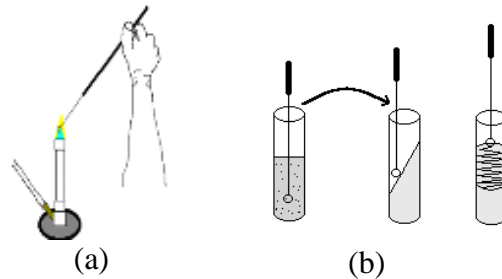


Figura 26. Procedimiento para tomar un inóculo de una muestra: (a) esterilizar el asa, (b) tomar el inóculo y transferirlo al medio de cultivo correspondiente

Es importante recalcar que para la determinación de coliformes fecales se siguió el procedimiento indicado en el apartado anterior (Sección 3.3.4.), que indicaba que se deben tomar volúmenes de 10, 1 y 0,1 ml de la muestra de agua en volúmenes de 10, 5 y 5 ml de medio cultivo. No obstante, los tubos positivos con coliformes fecales, es decir con cambio de coloración o con presencia de gas, fueron transferidos por medio de un inóculo a tubos con medio de cultivo de EC, para determinar la ausencia o presencia de E.coli. En la Figura 27 se ilustra los medios de cultivo utilizados para realizar los análisis microbiológicos.



Figura 27. Medios de cultivo utilizados en la metodología N.M.P

3.3.5. Metodología para la recolección de las muestras de agua potable y medición de parámetros de control

Para la recolección de las muestras de agua potable se utilizó bolsas estériles para evitar contaminación en las muestras que pudieran alterar el resultado de los análisis posteriores.

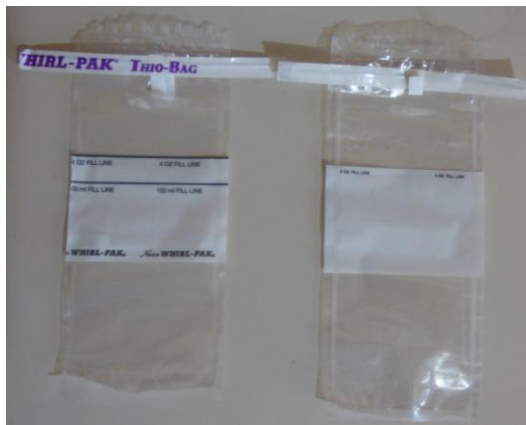


Figura 28. Bolsas estériles utilizadas en la recolección de las muestras de agua potable (la bolsa de la izquierda contiene tiosulfato de sodio)

En la Figura 28 se muestran las bolsas utilizadas durante el monitoreo de los 18 puntos de control, las muestras con presencia de cloro fueron recolectadas en bolsas con tiosulfato de sodio para poder neutralizar el cloro y de este modo garantizar un adecuado resultado microbiológico de las muestras. Para la medición de conductividad y turbiedad se recolectó una muestra de 100 mL en la bolsa sin tiosulfato de sodio como se ilustra en la Figura 28. La medición de pH, temperatura y cloro residual fueron realizado in-situ.

La recolección de cada muestra tanto en tanques, nacientes como red de distribución fue realizada con guantes y aplicando una adecuada desinfección en el sitio de la recolección de la muestra; así mismo se preservó las muestras a 4 °C, el muestreo utilizado fue un muestreo simple.



Figura 29. Desinfección del punto de recolección de la muestra de agua potable

En la Figura 29 se ilustra la desinfección realizada con alcohol de 90 en el punto de recolección de la muestra, posteriormente se dejó correr el agua durante 30 segundos para finalmente recolectar la muestra. Se procedió de la misma en tanques y nacientes en las que se contara con tubo de rebalse.

En los puntos de control con cloración se recolecto dos muestras una en bolsa con tiosulfato de sodio para realizar las pruebas microbiológicas y otra muestra sin este reactivo para determinar conductividad y turbiedad. En la Figura 30 se ilustra la recolección de las muestras.



Figura 30. Metodología de la recolección de la muestra

El pH fue medido en *insitu* por triplicado *con* ayuda de pH metro de campo, al cual primeramente se le realizo un lavado con agua destilada antes de realizar cada medición (véase la Figura 31).

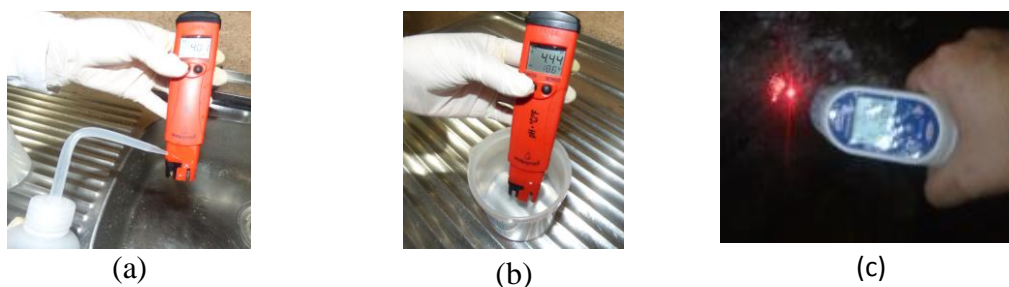


Figura 31. (a) y (b) Medición del parámetro de p-H y (c) medición de la temperatura con termómetro infrarrojo

La medición de la temperatura fue realizada con termómetro de infrarrojo y fue realizada *insitu* (véase la Figura 31). Para la medición del cloro residual de igual manera se realizó *insitu* con un medidor de cloro Hanna, inicialmente se lavó el tubo con agua destilada, se colocó la muestra de agua en el recipiente de vidrio y se colocó en el medidor, posterior se adicionó el reactivo de DPD el cual genera un cambio de coloración y finalmente se realizó la lectura del cloro residual libre como se muestra en el Figura 32.



Figura 32. Medición de cloro residual libre realizada en tanques de almacenamiento y red de distribución

3.3.6. Metodología para la curva de la demanda de cloro

Para cuatro muestras de agua de nacimiento (Naciente Gildo Mena, Naciente Los Mata, Naciente Gamboa 2 y Naciente Gamboa 1) se aforó en una probeta 100 mL del agua y se vertió a un beaker de 100 mL, este procedimiento se realizó en 10 beaker, a cada uno se le añadió una dosis de la solución estándar de Ácido Tricloisocianurico ($C_3Cl_3N_3O_3$) de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 mL respectivamente (véase la Figura 33). Además, se realizó una muestra testigo al verter 100 mL de agua destilada en un beaker al que se le añadió 1,0 mL solución estándar de Ácido Tricloisocianurico. Cada muestra se agitó con un agitador de vidrio y se les midió el pH con un pH-metro inmediatamente después de agregar la disolución de Ácido Tricloisocianurico ($C_3Cl_3N_3O_3$). Además, cada muestra se dejó en reposo durante 30 minutos, con un desfase de 5 minutos. Posteriormente se midió el cloro libre y el cloro total a cada una de las muestras con un medidor de cloro Thermo Scientific Orion, el cloro combinado se determinó con la diferencia entre el cloro total y el cloro libre.

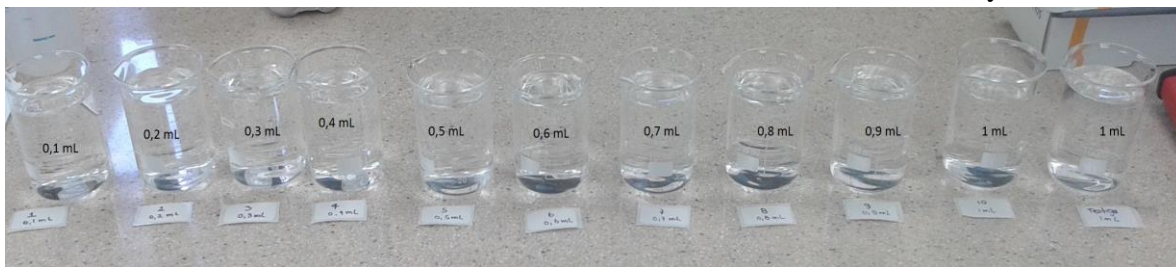


Figura 33. Dosificación de la disolución de Ácido Tricloisocianurico a los once beaker con una concentración de 350 mg/L



Figura 34. Procedimiento para la determinación de la curva de la demanda de cloro

En la Figura 34 se ilustra el procedimiento realizado para determinar la curva de la demanda de cloro a continuación se detalla la actividad realizada en cada fotografía (a) raspado de la pastilla de Ácido Tricloisocianurico ($C_3Cl_3N_3O_3$), (b) pesaje del Ácido Tricloisocianurico en una balanza analítica, (c) preparación de la solución con agitación magnética, (d) preparación de una disolución a partir de una disolución madre con una concentración conocida, (e) aforo de 100 mL de la muestra de agua en un bureta, (f) vertido del volumen de agua en cada beaker, (g) adición de la dosis correspondiente de la solución de cloro, (h) agitación de la muestra para homogeneizar el cloro en el beaker, (i) medición del pH, (j) colocación de la muestra sin el reactivo en el comparador de cloro, (k) colocación del reactivo dando un tiempo de reacción de 2 minutos para finalmente en la obtener la medición de cloro total y libre.

3.3.6.1. Análisis de datos

Para la construcción de la curva de demanda de cloro se utilizó el programa computacional Microsoft Excel 2010 graficando la dosificación de hipoclorito versus el cloro residual obtenido experimentalmente en el agua de las nacientes.

3.3.7. Métodos establecidos para los análisis de laboratorio

En el Apéndice 10 Cuadro A.10.1. se detalló los parámetros físico-químicos y microbiológicos que son necesarios realizar por cada ente operador del recurso hídrico según el “Reglamento para la calidad del agua potable”, en el Artículo 10 de este reglamento se estipula que los análisis para el N1, N2 y N3, se deben realizar con laboratorios acreditados

y los métodos para cada parámetros conforme se establecen en la última edición de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, así mismo se estipula que las muestras deben ser recolectadas por los miembros del laboratorio acreditado contratado (La Gaceta No.170, 2015). En esta sección se detallarán los métodos de laboratorio para el N1, N2 y N3 (véase el Cuadro 5), para consultar más información acerca de los parámetros consultar el apartado 2.5 de este documento.

Cuadro 5. Métodos estándar de referencia para el nivel 1 del Reglamento para la calidad del agua potable

Parámetro	Método	Almacenamiento	Referencia
Turbiedad	<i>Método nefelométrico</i> , es la comparación de la luz dispersada por la muestra bajo las condiciones definidas con respecto a luz dispersada por la suspensión estándar de referencia.	La muestra se debe de preservar a 4° C.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012k)
Olor (a)	<i>El método de la prueba del umbral de olor</i> consiste en diluir la muestra en agua libre de olor y colocarlo en el equipo de generador de olor, no obstante, este dato varía dependiendo de la capacidad olfativa del responsable a cargo	La muestra debe recolectada en botellas de vidrio con 500 ml y se deben de mantener refrigeradas y lejos de olores fuertes que se puedan impregnar a la muestra.	(Rice et al., 2012g)
Sabor (a)	El método de la prueba para el umbral del sabor consiste en una medida del sabor detectable, es decir se compara la muestra con un sabor específico de referencia.	Sin especificación en el método.	(Rice et al., 2012i)
Temperatura (b)	El método de campo para medir la temperatura es utilizando un termómetro análogo o digital sumergiendo el equipo en la muestra y determinar la temperatura.	Sin especificación en el método.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012j)
pH	El método electrométrico consiste en determinar la actividad de los iones hidrogeno por una medida potencio métrica utilizando un electrodo estándar y un electrodo de referencia	Sin especificación en el método.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012h)
Conductividad	El método de conductividad permite medir la habilidad de la solución acuosa de cargar una corriente eléctrica por causa de los iones presentes en la misma.	Sin especificación en el método.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012c)

(a) Valoración cualitativa.

(b) Excepto para agua en depósitos cerrados.

En el Cuadro 5 se detalló los métodos utilizados por los laboratorios acreditados para determinar los parámetros establecidos en el nivel 1 para agua potable.

Cuadro 6. Métodos estándar de referencia para el nivel 2 del Reglamento para la calidad del agua potable

Parámetro	Método	Almacenamiento	Referencia
Aluminio	Método de eriocromo de cianina R, se basa en un colorante de eriocromo de cianina diluido en una solución buffer de aluminio a pH de 6 que produce un complejo de rojo a rosado, el cambio en la coloración es influenciado por la concentración de aluminio.	La muestra debe ser recolectada en un recipiente plástico limpio y previamente enjuagado con ácido.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012a)
Calcio	Método volumétrico con EDTA, consiste en realizar una valoración de la muestra hasta que se forme un precipitado.	Sin especificación en el método.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012b)
Cobre	Método con neocuproína, es una valoración del ion de cobre (Cu ⁺) que en una solución neutra o ligeramente acida reacciona con 2,9-dimetil-1,10-fenantrolina, (neocuproína) formando un complejo con cada dos moles de neocuproína y mol de ion de cobre (Cu ⁺) generando una coloración amarilla.	Sin especificación en el método.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012d)
Hierro	Método con fenantrolina, consiste en realizar una valoración con 1,10-fenantrolina hasta que se forme un complejo entre rojo y anaranjado	La muestra se debe recolectar en una botella limpia con ácido y enjuagada con agua destilada	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012f)
Magnesio Manganeso Plomo Potasio	Método de espectrofotometría de absorción atómica, mediante un equipo con aire y una llama que permite determinar las concentraciones de los metales.	Sin especificación en el método.	(Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012e)

Cuadro 7. Métodos estándar de referencia para el nivel 3 del Reglamento para la calidad del agua potable

Parámetro	Método	Almacenamiento	Referencia
Amonio Antimonio Arsénico Cadmio Cianuro Cromo Mercurio Níquel Nitrito Selenio	Método de espectrofotometría de absorción atómica, mediante un equipo con aire y una llama que permite determinar las concentraciones de los metales.	Sin especificación en el método.	(Rice et al., 2012e)

3.3.8. Oferta de agua del acueducto

Para determinar la oferta del recurso hídrico que tiene el acueducto, se utilizó los datos de aforos volumétricos suministrados por la ASADA de San Antonio de León Cortés para las cuatro nacientes que abastecen a la comunidad, estos datos fueron digitalizados ya que dicha información se tenía de manera física. Para el análisis de los datos se utilizó el software Microsoft Excel 2007 para la elaboración de los gráficos y cálculos necesarios. El período analizado para determinar la oferta del recurso hídrico fue de septiembre de 2013 a marzo de 2017.

3.3.9. Demanda actual de agua potable del acueducto

Para establecer la demanda de agua actual se procedió a solicitar la información del consumo mensual de agua potable reportados por la micro-medición del año 2016 a la ASADA, dichos consumos fueron digitalizados en una matriz con los 212 usuarios del acueducto y el consumo por mes para el año 2016 correspondiente para cada usuario; así mismo también se digitalizó los consumos para el mes de enero y febrero del año 2017, una vez digitalizada esta información se procedió a realizar una sumatoria de los consumos para obtener el consumo total por año, consumo promedio mensual y con ello establecer la demanda o consumo actual por abonado y/o por habitante del acueducto. El software utilizado para el análisis de los datos fue Microsoft Excel.

3.3.10. Proyección de la demanda futura de agua potable

3.3.10.1. Proyección poblacional del Acueducto

Para determinar la población total que abastece la comunidad de San Antonio León Cortés se consultó Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) los censos realizados en el año 2000 y 2011 (INEC, 2017). Con los datos de la población total se procedió a calcular la proyección de la población mediante tres modelos matemáticos aritmético, exponencial y logarítmico (véase el Anexo 3) los cuales permiten predecir cómo será el incremento de la población a futuro, dichos modelos requieren de la información de los últimos Censos realizados en lugar de estudio (Ureña Vargas, 2016).

Posteriormente se procedió mediante tres modelos matemáticos a calcular la tasa de crecimiento poblacional: aritmética, geométrica y exponencial (Ureña Vargas, 2016) para consultar los modelos matemáticos aplicados véase el Anexo 2.

3.3.10.2. Proyección de la demanda futura del recurso hídrico

La escasez del recurso hídrico conlleva a administrar la oferta para satisfacer la demanda de agua, para ello se debe implementar medidas no solo técnicas o aumentos en las tarifas sino estrategias para que los usuarios utilicen racionalmente el recurso y aplicar medidas de ahorro en el consumo (Morales & Rodríguez, 2007). Para ello se procedió a calcular la dotación bruta este valor se calculó considerando un porcentaje de pérdidas tomando como referencia criterios ya establecidos por algunos autores, (López Cualla, 2003) establece que se debe considerar un porcentaje máximo de pérdidas del 40%; mientras que para acueductos

con una alta capacidad técnica y económica se sugiere utilizar un 20% como valor máximo. Otras investigaciones sugieren que no se debe sobrepasar de un 25% de pérdidas (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010). Tomando en cuenta estas consideraciones, posteriormente se calcularon los caudales de diseño: caudal medio, caudal máximo diario y caudal máximo horario (véase el Anexo 4) (López Cualla, 2003), estos caudales se calcularon con la proyección futura de la población mediante los modelos matemáticas aritmético, geométrico y exponencial.

3.3.10.3. Escenario futuro de disponibilidad del recurso hídrico

Para determinar la disponibilidad del recurso hídrico se planteó un escenario según lo estipulado por el Instituto Costarricenses de Acueducto y Alcantarillados (2016), como se detalla a continuación.

Metodología A y A:

Este escenario proyectado se realizó bajo los siguientes supuestos.

1. El caudal promedio de todas las nacientes se mantiene igual a lo largo de la proyección realizada, es decir se utilizó un caudal promedio de 8,15 L/s (véase el Cuadro 15).
2. El porcentaje de pérdidas trabajado fue de un 20%.
3. El cálculo del caudal medio, máximo diario y máximo horario se calculó con la proyección poblacional del promedio entre el modelo aritmético, geométrico, exponencial.
4. La dotación neta utilizada fue de 200 L/Hab*día (AYA, 2016) dicha dotación permanece constante a lo largo de la proyección.

3.3.11. Manual de operación del acueducto y propuesta de soluciones

La elaboración del manual de operación del acueducto se hizo tomando como referencia datos de las giras de campo, donde se recopiló una serie de oportunidades de mejora para la medición de parámetros de control y revisión documental, una vez analizado las actividades cotidianas realizadas por el acueducto se elaboró una guía de los principales hallazgos, dicho manual recopila revisión bibliográfica que pretende resolver las principales necesidades del acueducto para mejorar el seguimiento y monitoreo de las fuentes de abastecimiento, tanques de almacenamiento y red de distribución. Para la elaboración de las propuestas de mejora se analizó todos los resultados obtenidos en el monitoreo de control realizado, así como las estimaciones de oferta y demanda futura; por otra parte, se consideró los resultados de la encuesta realizada y demás observaciones encontradas para el acueducto para elaborar una serie de recomendaciones de mejora.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación y diagnóstico del acueducto

4.1.1. Resultados Inspección sanitaria

La metodología utilizada para realizar la inspección sanitaria fue descrita en el apartado 3.3.1 de este documento, a continuación, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación

SERSA realizada para las zonas de captación y tanques de almacenamiento realizado el día 01/09/2016. El acueducto de San Antonio cuenta con cuatro nacientes conocidas con los nombres: Naciente Gamboa 1, Naciente Gamboa 2, Naciente los Mata y Naciente Gildo Mena. Con la evaluación SERSA de las nacientes se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1.1. Naciente Los Gamboa 1

Esta naciente se encuentra construida de forma semi-enterrada y carece de malla de protección que impida el acceso a animales o personas, se encuentra en un área de bosque primario y a una elevación de 1900 msnm.

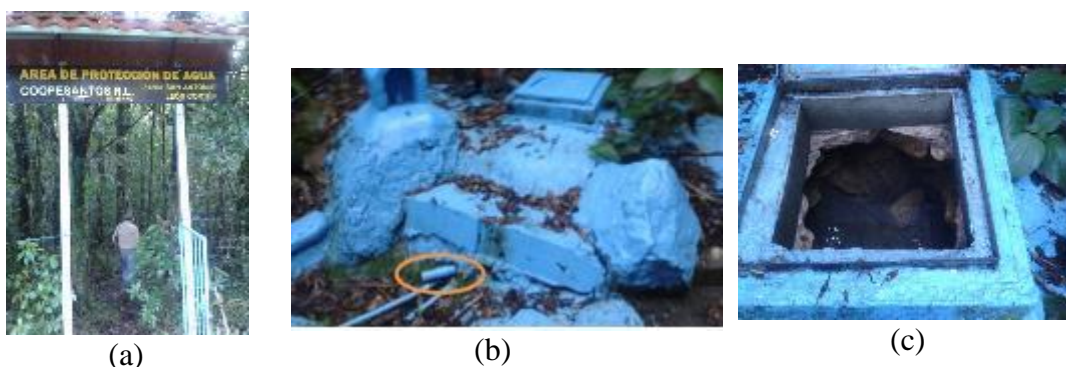


Figura 35. Ingreso de la naciente Los Gamboa 1, (b) Zona de captación para la naciente Los Gamboa N°1 Y (c) Vista del interior de la captación de la naciente Los Gamboa 1

En la Figura 35 se puede observar el ingreso de entrada de la naciente conocida como Los Gamboa 1, este ingreso cuenta con portón protegido por candado y está cercado alrededor de la naciente.

En la Figura 35 se puede apreciar la captación de la naciente, esta no cuenta con canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía ni respiradero; no obstante cuenta con una tapa sanitaria protegida con cierre, como se ilustra en la Figura 35 (b) en la parte inferior se tiene una tubería con tapa de PVC que permite realizar el aforo de manera mensual. En la Figura 35 (c) se puede apreciar el interior de la captación el cual se encuentra libre de raíces y plantas. Según el resultado obtenido en la evaluación SERSA esta naciente tiene un nivel de riesgo intermedio (véase el Apéndice A.3.2).

4.1.1.2. Naciente Los Gamboa 2

La Naciente Gamboa 2 se encuentra dentro de un área de bosque primario de 18 hectáreas que le pertenecen a la ASADA gracias a una donación realizada por Coopesantos R.L., cuenta con un caudal promedio de 6,17 L/s, un caudal mínimo de 1,50 L/s y caudal máximo de 12,00 L/s, según datos suministrados de los aforos realizados por el acueducto desde septiembre de 2013 hasta marzo de 2017 (véase el Apéndice 2), con una elevación de 1895 msnm. Es la fuente principal de abastecimiento de agua para la comunidad de San Antonio L.C. Esta

naciente cuenta con nueve nacientes internas con canales de piedra, carece de malla de protección; no obstante, si cuenta con un portón de ingreso con candado, el terreno circundante se encuentra cercado; la pared de la captación cuentan con indicios de fugas, el día de la gira no se observó problemas de aguas estancadas alrededor de la captación, ni problemas de contaminación cercana, así mismo se observó que esta naciente se encuentra ubicada lejos de actividad agrícola o industrial que pongan en riesgo la calidad del agua ; por otro lado, se determinó que se requieren hacer canales de desviación del agua de rebalse, ya que se observó que estaba pasando sobre las cajas de registro y la tuberías de conducción (véase la Figura 36).



Figura 36. Tubería de rebalse de la Naciente Los Gamboa 2 (imagen de la izquierda) y cajas de registro y línea de conducción de la Naciente Gamboa 2 (imagen de la derecha)

En la Figura 37 se ilustran las válvulas con las que se cuentan luego de la captación de la naciente, estas válvulas se utilizan para cerrar el flujo y poder realizar las reparaciones que sean necesarias; así como para realizar los aforos mensualmente.



Figura 37. Interior de las cajas de registro en la naciente Los Gamboa N°2



Figura 38. Tanque de filtración con piedra caliza (imagen de la izquierda), tanque plástico (imagen central), actual filtro de piedra caliza (imagen de la derecha)

Esta naciente contaba con un filtro de piedra caliza, la función principal era subir al pH del agua, la tapa sanitaria del mismo se encontraba bajo un serio problema de corrosión, y fugas considerables tanto al ingreso como a la salida del filtro. No obstante, este filtro fue eliminado y en su lugar se colocó un tanque plástico con una capacidad de almacenamiento de 5000 litros. La piedra caliza fue transferida a un cajón de cemento de 50x50 cm (véase la Figura 38). Según el resultado obtenido en la evaluación SERSA esta naciente se encuentra en un nivel de riesgo intermedio (véase el Apéndice 3: Cuadro A.3.1.)

4.1.1.3. Naciente número tres Los Mata

Esta naciente se encuentra ubicada en área de bosque; pero, circundante se encuentran terrenos con actividad cafetalera; cuenta con el caudal promedio de 0,39 L/s, con un caudal mínimo de 0,20 L/s y caudal máximo de 1,25 L/s según datos suministrados de los aforos realizados por el acueducto desde septiembre de 2013 hasta marzo de 2017 (véase el Apéndice 2) La captación se encuentra semienterrada no cuenta con malla de protección, la tapa sanitaria no cuenta con cierre de seguridad, carece de un respiradero; en el interior de la naciente no se observó la presencia de hojas o raíces, además no existe problemas de agua estancadas cerca de la naciente (véase la Figura 39). Según el resultado de la evaluación SERSA esta naciente cuenta con un nivel de riesgo intermedio (véase el Apéndice 1: Cuadro A.3.3.)



Figura 39. Zona de captación de la naciente Los Mata

4.1.1.4. Naciente Gildo Mena

Esta naciente se encuentra ubicada de área de bosque primario, cuenta con un caudal promedio de 0,98 L/s con un caudal mínimo de 0,21 L/s y un caudal máximo de 3,00 L/s. La

elevación de la Naciente Gildo Mena es de 1766 msnm. La captación no cuenta con respiradero ni un adecuado sistema de rebalse (véase la Figura 40). No cuenta con fuente de contaminación cercana ni aguas estancadas alrededor de la Naciente. Según la evaluación SERSA la naciente cuenta con un nivel de riesgo bajo (véase el Apéndice 3: Cuadro A.3.4.).



Figura 40. Captación naciente Gildo Mena (a) vista frontal y rebalse de la naciente; (b) interior de la captación

En el

Cuadro 8 se detalla de manera resumida el nivel de riesgo de las nacientes del acueducto de San Antonio de León Cortés obtenidas con la evaluación SERSA.

Cuadro 8. Nivel de riesgo de las nacientes obtenido con la evaluación SERSA

Naciente	Numero de Respuestas "si"	Clasificación del riesgo	Código de colores	Factor de riesgo
Naciente Gamboa 1	3	Intermedio		-Carece de malla de protección. -Las paredes poseen fugas. -Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía.
Naciente Gamboa 2	3	Intermedio		- Carece de malla de protección. - Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía. -Carece de respiradero.
Naciente Los Mata	4	Intermedio		-No cuenta con malla de protección. -La tapa sanitaria no cuenta con tornillo de seguridad. -Carece de respiradero -Ubicada cerca de actividad cafetalera.
Naciente Gildo Mena	2	Bajo		-No cuenta con malla de protección. - Carece de respiradero

Nota: La clasificación del nivel de riesgo fue descrita en el apartado 3.3.1. de este documento.

El acueducto cuenta con nueve tanques de almacenamiento conocidos con los nombres tanque Lelis, Heiner, Rolo, Jubentino 1, Jubentino 2, Jubentino 3, Próspero, Alicia y tanque

William (véase la Figura 16). En el Cuadro 9 se resume los resultados obtenidos de la evaluación SERSA para los tanques de almacenamiento (véase el Apéndice 4: Cuadros A.4.1-A.4.9).

Cuadro 9. Nivel de Riesgo de los tanques de almacenamiento del Acueducto de San Antonio L.C

Tanque de almacenamiento	Numero de Respuestas "si"	Clasificación del riesgo	Código de colores	Factor de Riesgo
Heiner	2	Bajo		-Carece de malla de protección. -Las paredes poseen fugas.
Rolo	2	Bajo		- Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas). -Carece de respiradero.
Alicio	4	Intermedio		-No cuenta con malla de protección. -Posee sedimentos dentro del tanque. -Carece de respiradero.-Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas).
William	5	Riesgo alto		- Carece de respiradero. - Posee sedimentos dentro del tanque. -La tapa carece de cierre seguro. -Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas). -Carece la estructura interna de mantenimiento.
Jubentino 1	2	Bajo		-No cuenta con malla de protección. -Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas y ganado).
Jubentino 2	2	Bajo		-No cuenta con malla de protección. -Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas y ganado).
Jubentino 3	3	Intermedio		-No cuenta con malla de protección. -Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas y ganado). -La tapa carece de cierre seguro.
Próspero	1	Bajo		-Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas).
Lelis	3	Intermedio		-No cuenta con malla de protección. -Posee fuente de contaminación alrededor (viviendas).-Carece de respiradero

4.1.2. Resultados de la encuesta aplicada a los usuarios de la comunidad

La encuesta realizada a los usuarios de la comunidad fue aplicada desde el 21/10/2016 hasta el 01/11/2016, donde se logró encuestar el 100% de la muestra seleccionada (véase el Apartado 3.3.2.). El objetivo de la encuesta fue determinar la percepción de la comunidad con respecto al suministro de agua potable brindado por el acueducto. El cuestionario utilizado en la encuesta estuvo conformado por catorce preguntas cerradas y cinco preguntas abiertas (véase el Apéndice1). A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

El 55% de los usuarios encuestados poseen un núcleo familiar constituido entre 1-3 personas, el 42% está constituido por un grupo familiar entre 4-5 personas, mientras que solamente el

3% de los usuarios encuestados aseguro que su familia se conforma por más de seis integrantes (véase la Figura 41 a).

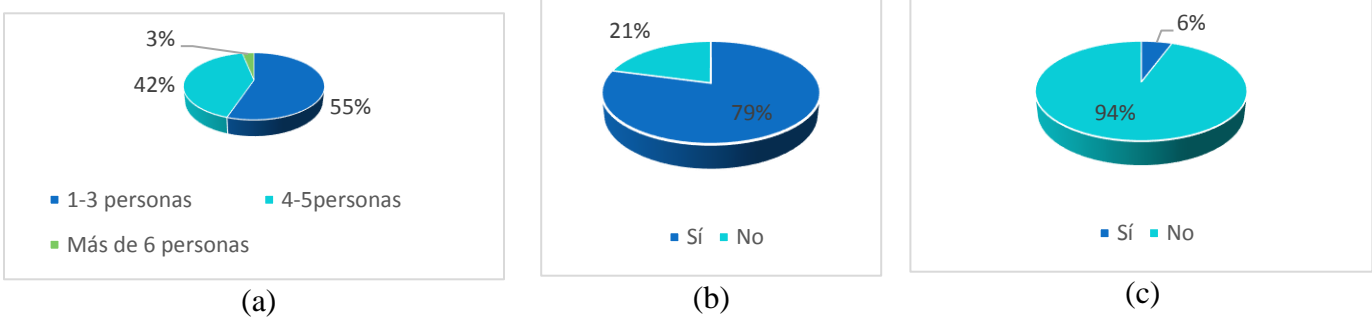


Figura 41. (a) Cantidad de personas del núcleo familiar de los usuarios encuestados, (b) Encuestados que han notado olor y sabor en el agua potable y (c) Cantidad de usuarios afectados por faltante de agua

Por otro lado, al consultar a los usuarios si habían notado algún olor o sabor extraño en el agua potable, el 79% indicó que no mientras que el 21% afirmó lo contrario (véase la Figura 41 b)

Según datos suministrados por el acueducto, durante varios años se ha tenido la problemática por faltante de agua en varios sectores de la comunidad; no obstante, se han realizado mejoras de abastecimiento y colocación de nuevos tanques de almacenamiento con sistemas de boyas; así como micro-medidores para mitigar el faltante de agua. Al realizar la pregunta a los usuarios sobre la problemática por faltante de agua solo el 6% aseguro tener faltante de agua (véase la Figura 41 c).

Por otra parte, el 15% de los encuestados aseguró que han observado problemas de turbiedad principalmente en época de invierno (véase la Figura 42).

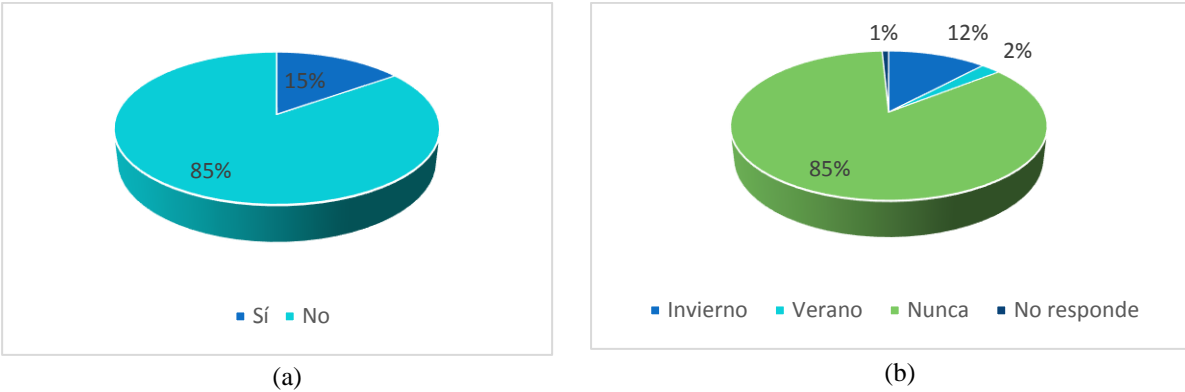


Figura 42 (a) Encuestados que han identificado turbiedad en el agua potable, (b) frecuencia con la que el agua llegó turbia a los usuarios afectados

Otro punto considerado en la encuesta fue identificar la población que cuentan con micro-medidores y determinar si los usuarios conocían sobre el funcionamiento de los mismos, el 2% indicó no poseer micro-medidores y solamente el 22% indicó conocer el funcionamiento del micro-medidor (véase la Figura 43).

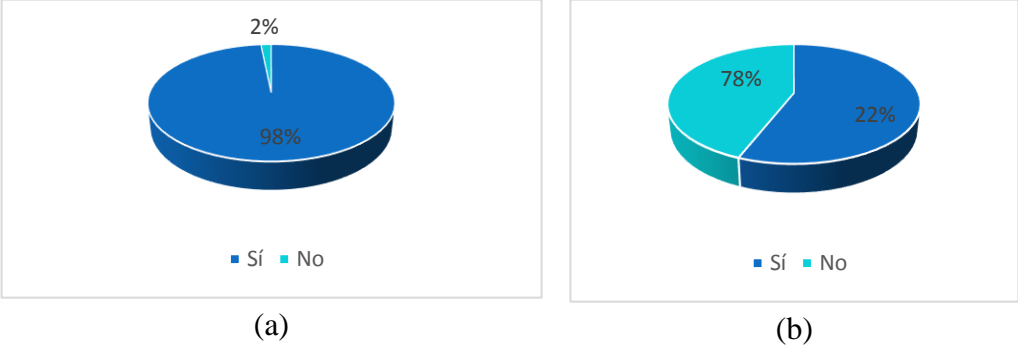


Figura 43. (a) Cantidad de usuarios con micro-medidores y (b) cantidad de usuarios que conocen el funcionamiento del medidor

Por otra parte se consulto a los usuarios si conocian sobre la tarifa establecida por la ARESEP para el acueducto y el nivel de calidad de agua potable y solo el 28 % y el 43% respectivamente indicó conocer sobre estos temas (veáse la Figura 44).

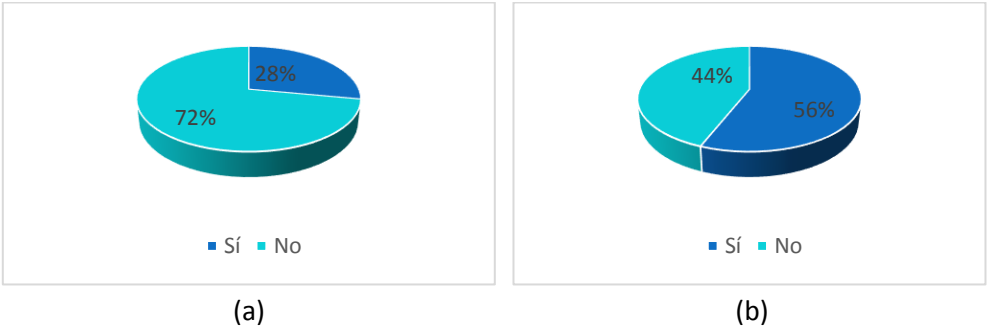


Figura 44. (a) Cantidad de usuarios que conocen la tarifa establecida por la Aresep, (b) usuarios que conocen sobre la calidad de agua potable suministrada por el acueducto

Por otro lado, solamente el 7% aseguró contar con fugas dentro de su hogar, para el ahorro del agua solo 37% hace uso de agua de lluvia para disminuir facturación mensual en el hogar (véase la Figura 45).

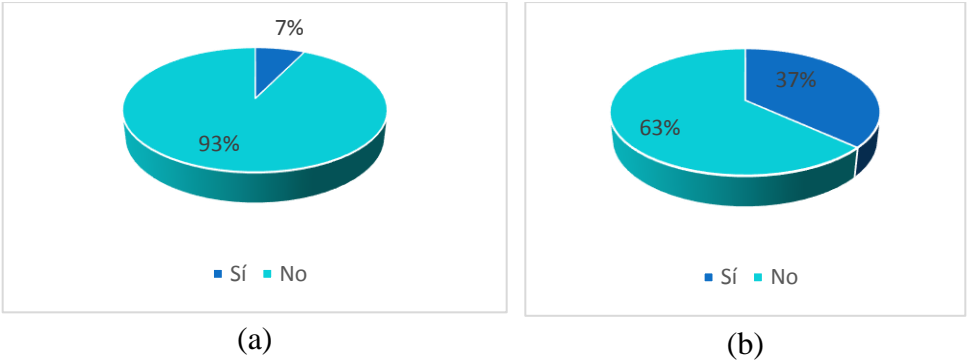


Figura 45. (a) cantidad de personas con fugas en el hogar, (b) conjunto de personas que utiliza agua de lluvia

Uno de los temas más controversiales en la comunidad fue el tema de la cloración debido a la inconformidad de los usuarios y rechazo a la presencia del cloro en el agua al realizar la consulta a los 125 usuarios el 82% aseguró conocer que el agua que llegaba a su hogar estaba clorada y el 18% menciona no conocer si existía un proceso de cloración. Al consultar sobre la percepción del trabajo realizado por el acueducto de la comunidad el 77% indicó que el servicio brindado es bueno, el 6% indicó que es regular y un 17% indicó que el acueducto brinda un servicio excelente, ningún usuario indicó que el servicio era malo (véase la Figura 46).

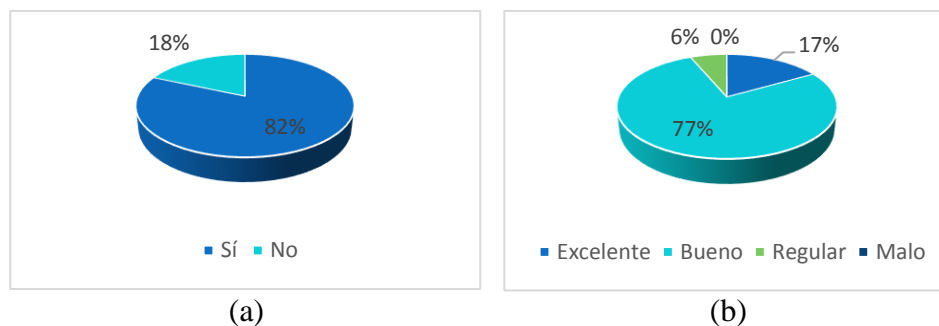


Figura 46. (a) Grupo de personas que conoce si al agua es clorada, (b) percepción de los usuarios del servicio brindado por el acueducto

4.1.3. Parámetros de control monitoreados en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución

En el siguiente apartado se detalla los resultados de los parámetros analizados en los puntos de control monitoreados desde octubre de 2016 a febrero de 2017. La metodología llevada a cabo para obtener dichos resultados fue descrita en la metodología sección 3.3.3.

4.1.3.1. Turbiedad

Los resultados obtenidos para la turbiedad en los puntos de control monitoreados se detallan en el Apéndice 5 (Cuadro A.5.1), según el *“Reglamento para la calidad del agua potable”* (La Gaceta No.170, 2015) el valor máximo permitido para la turbiedad es de 5 UNT. Con el control llevado a cabo solamente el punto identificado con el nombre de Tanque William sobrepasó el límite permitido para este parámetro con un valor de 6,49 UNT reportado para el mes de diciembre. Para el mes de enero y febrero todos los 18 puntos de control cumplieron con el reglamento. En el caso del mes de noviembre no fue posible tener datos de turbiedad en los puntos de la Naciente los Mata y el Tanque de William por condiciones climatológicas. A pesar de ello 15 puntos si cumplieron con el reglamento en el mes de noviembre.

Otro aspecto a considerar es que el filtro de piedra de caliza localizado a la salida de la naciente Gamboa 2, aumentó la turbiedad de 0,34 a 5,33 UNT en el mes de noviembre, el mes de diciembre pasó de 1,78 a 2,01 UNT, en el mes de enero no hubo un aumento de la turbiedad, mientras que en el mes de febrero hubo un incremento en la turbiedad de 0,44 a 0,46 UNT.

Cuadro 10. Datos resumen de turbiedad para los puntos monitoreados obtenidos de octubre 2016 a febrero de 2017

Lugar del muestreo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Tanque Lelis	0,64	0,40	1,07
Naciente Gildo Mena	0,78	0,64	0,95
Tanque Prospero	0,96	0,27	2,45
Tanque Heiner	0,90	0,17	1,23
Tanque Rolo	1,55	0,18	4,71
Jubentino 1	0,44	0,10	0,90
Jubentino 2	0,54	0,26	1,00
Jubentino 3	0,53	0,23	0,77
Naciente Los Gamboa 1	0,55	0,31	0,80
Naciente Los Gamboa 2	0,81	0,34	1,78
Filtro	2,10	0,46	5,33
Tanque Alicia	0,61	0,22	1,25
Naciente Los Mata	0,97	0,53	1,70
Centro de Nutrición	1,13	0,18	3,38
Escuela San Antonio L.C.	0,96	0,33	1,96
Punto Cercano	0,91	0,23	1,74
Punto Lejano	0,53	0,25	0,89
Tanque William	2,43	0,32	6,49

En el Cuadro 10 se detalla el resumen del promedio, mínimo y máximo de turbiedad para los puntos monitoreados, donde se puede observar que la turbiedad no representó problemas para el acueducto según el monitoreo realizado.

4.1.3.2. Conductividad

Según el *“Reglamento para la calidad del agua potable”* (La Gaceta No.170, 2015) el valor máximo permitido para la conductividad es de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el Apéndice 5 (Cuadro A.5.2) se muestran los datos obtenidos para la medición de la conductividad en los puntos de control monitoreados durante la investigación, en este se pudo observar que ningún punto tanto en nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución sobrepaso el máximo permitido de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, se determinó que el máximo dato reportado de conductividad fue de 28,68 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la Naciente los Mata para el mes de febrero como se ilustra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Datos resumen de conductividad para los puntos monitoreados obtenidos de octubre 2016 a febrero de 2017

Lugar del muestreo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Tanque Lelis	5,89	4,94	6,80
Naciente Gildo Mena	20,31	17,13	23,41
Tanque Prospero	5,90	5,31	6,71
Tanque Heiner	7,31	5,79	8,57
Tanque Rolo	6,32	5,28	7,18
Jubentino 1	6,81	5,86	7,69
Jubentino 2	6,50	5,82	7,10
Jubentino 3	6,02	5,45	6,62
Naciente Los Gamboa 1	5,58	3,84	6,86
Naciente Los Gamboa 2	6,95	3,83	9,12
Filtro	7,61	6,13	8,69
Tanque Alicia	6,28	5,40	6,87
Naciente Los Mata	26,12	22,12	28,68
Centro de Nutrición	6,14	4,87	8,01
Escuela San Antonio L.C.	6,82	5,36	8,22
Punto cercano	7,12	5,64	8,45
Punto lejano	6,27	5,47	7,95
Tanque William	3,90	3,42	4,53

4.1.3.3. Análisis microbiológicos

Para el análisis microbiológico se monitoreo 18 puntos de control (*nueve* tanques, *cuatro* nacientes, *un* filtro de piedra caliza y *cuatro* puntos en la red de distribución considerando un punto cercano y lejano a la cloración, además de la Escuela y el Centro de Nutrición), durante octubre 2016-febrero 2017. La metodología utilizada fue descrita en la sección 3.3.5 y en la sección 3.3.6; los resultados obtenidos se ilustran en el Apéndice 5 (Cuadro A.5.3.).

Para el muestreo de octubre de 2016 se procedió a realizar la primera etapa de la metodología del N.M.P conocida como “presuntiva o confirmatoria de Coliformes Totales”, para todos los puntos de muestreo se obtuvo un resultado negativo; es decir, ningún punto de control presentó contaminación por Coliformes Totales. Una vez descartada la ausencia de Coliformes Totales en los puntos de control, se procedió a realizar la segunda y tercera etapa de la metodología N.M.P en los siguientes meses de monitoreo (ver sección 3.3.5).

El día miércoles 23/11/2016 se procedió a realizar el segundo muestreo de agua potable visitando los 18 puntos de control del estudio; no obstante, por motivo del huracán Otto en Costa Rica no se tienen datos microbiológicos para el mes de noviembre.

Para el mes de diciembre de 2016 se obtuvo tres muestras positivas con Coliformes Fecales las cuales fueron obtenidas de la Naciente Los Mata y Gamboa 1, así como el Tanque William, al dar positivo las muestras con coliformes fecales se procedió a realizar la tercer etapa de la metodología del N.M.P en la cual se determinó que dos de las tres muestras positivas contaban con presencia de *E.coli*, las fueron la Naciente Los Mata y Gamboa 1.

Para el mes de enero de 2017 cuatro muestras dieron positivas con coliformes fecales, pero negativas con *E.coli* las cuales fueron: Naciente Los Mata y Gamboa 1 así como el punto lejano y cercano a la cloración. Mientras que para el mes de febrero de 2017 todas las muestras dieron negativas con la presencia de coliformes fecales. En la Figura 47 se ilustra una imagen donde se observa la diferencia entre un tubo positivo y un tubo negativo con Coliformes Fecales.

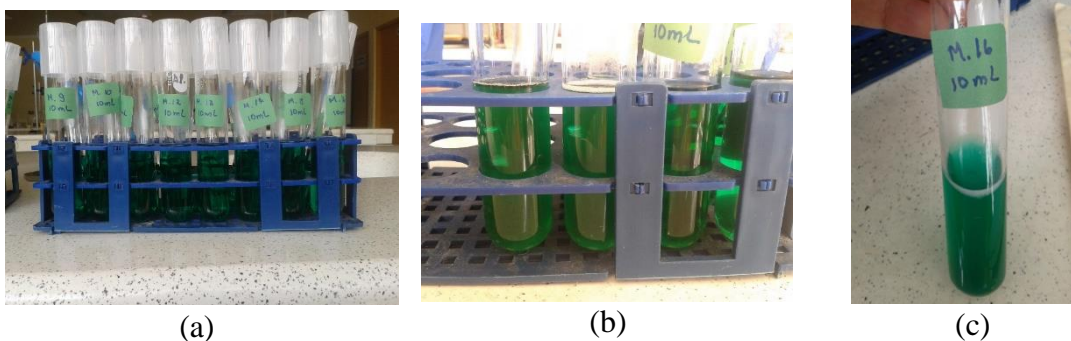


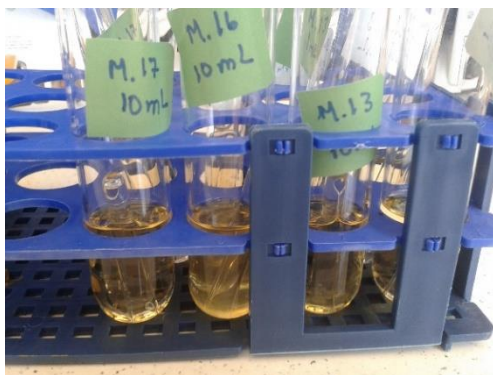
Figura 47. Etapa confirmatoria de Coliformes Fecales: (a) Tubos negativos; (b) y (c) Tubos positivos

En la Figura 47 (a) se puede observar los tubos negativos con Coliformes Fecales, (a)); mientras que en las muestras positivas se detallan en la Figura 47 (b) y (c)). Los tubos positivos con coliformes fecales fueron transferidos al medio de cultivo de EC en la

(a)

(b)

Figura 48 se ilustra una imagen ejemplificando esta etapa.



(a)



(b)

Figura 48. Etapa confirmatoria de *E.coli*: (a) Tubos negativos; (b) Tubos positivos

4.1.3.4. Cloro residual libre

La medición del cloro residual se realizó durante un período de cinco meses contemplado desde octubre de 2016 hasta febrero de 2017. Los puntos de muestreo analizados durante la investigación para la medición de cloro fueron: ocho tanques y cuatro puntos en la red de distribución (Escuela de San Antonio de León Cortés, Centro de Nutrición, un punto cercano y lejano a la cloración). Los resultados para el cloro residual libre se detallan en el Apéndice 5.

Cuadro 12. Datos resumen de cloro residual para los puntos monitoreados de octubre 2016 a febrero de 2017

Lugar	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Tanque Lelis	0,14	0,04	0,30
Tanque Prospero	0,25	0,17	0,35
Tanque Heiner	0,48	0,24	1,05
Tanque Rolo	0,36	0,10	1,05
Jubentino 1	0,28	0,09	0,51
Jubentino 2	0,15	0,04	0,38
Jubentino 3	0,15	0,03	0,30
Tanque Alicia	0,26	0,13	0,41
Centro de Nutrición	0,12	0,05	0,19
Escuela San Antonio de León Cortés	0,15	0,06	0,26
Punto cercano	0,28	0,16	0,42
Punto lejano	0,15	0,08	0,28

Como se muestra en el Cuadro 12 para la medición realizada en octubre del 2016 en el Tanque de Heiner (tanque principal y sitio de la cloración) y Tanque Rolo se obtuvo un valor de cloro residual igual 1,05 ppm; estos datos son considerados como valores de alerta según el reglamento de agua potable, no obstante, en los demás puntos de muestreo no se

cumplió el reglamento de agua potable que establece que se debe garantizar 0,30 ppm en la red de distribución (La Gaceta No.170, 2015). Es decir; para el mes de octubre se obtuvo dos mediciones con valores de alerta y diez puntos que no cumplieron con el parámetro de cloro residual establecido en el reglamento (véase el Apéndice 5).

Para la medición realizada el mes de noviembre del 2016 la concentración de cloro aplicada garantizó el cumplimiento de seis de los puntos monitoreados, con un valor mínimo de 0,10 ppm monitoreado en el punto lejano a la concentración y un valor máximo de 0,51 ppm obtenido en el Tanque Jubentino 1.

Posteriormente, para el mes de diciembre del año 2016 solo se logró garantizar un punto de control que cumpliera con el reglamento, por consiguiente, once puntos no cumplieron con el reglamento. En Apéndice 5 (Cuadro A.5.4) se puede observar que el punto que cumplió con el reglamento fue el Tanque de Próspero con una medición de 0,27 ppm, para el mes de diciembre se obtuvo un valor mínimo de 0,04 ppm medido en el Tanque de Lelis.

La medición realizada en el mes de enero de 2017 se obtuvo el mejor resultado, porque se garantizó el cumplimiento de ocho de los 12 puntos de control los cuales fueron: Tanque Lelis-Heiner-Rolo-Jubentino 1- Jubentino 3- Alicia, punto lejano, punto cercano. Se obtuvo un valor mínimo de 0,05 ppm en el Centro de Nutrición y valor máximo de 0,41 ppm medido en el Tanque de Alicia (véase el Cuadro 12).

Para el mes de febrero del año 2017 disminuyó la cantidad de puntos que cumplían el reglamento a solamente dos con respecto al mes de enero, los puntos monitoreados que cumplieron el reglamento del mes de enero fueron el Tanque Prospero y Tanque de Heiner con mediciones de cloro residual de 0,35 ppm y 0,40 ppm respectivamente. Se obtuvo un valor mínimo de 0,03 ppm medido en el Tanque Jubentino 3 y el valor máximo fue medido en el Tanque Heiner.

El Tanque Heiner sitio donde se lleva a cabo la cloración de todo el acueducto, se obtuvo un promedio en la medición de cloro residual durante los cinco meses monitoreados igual a 0,48 ppm con una desviación estándar de 0,32; además, el valor mínimo de cloro residual en este punto fue medido en el mes de diciembre con un valor de 0,24 ppm y el valor máximo de cloro residual medido de 1,05 ppm en el mes de octubre.

Por otro lado, se determinó que el promedio en la medición de cloro residual durante los cinco meses de monitoreo para todos los puntos de control fue de 0,23 ppm, en la Figura 49 se detalla el comportamiento del promedio, el máximo y mínimo de cada uno de los puntos monitoreados.

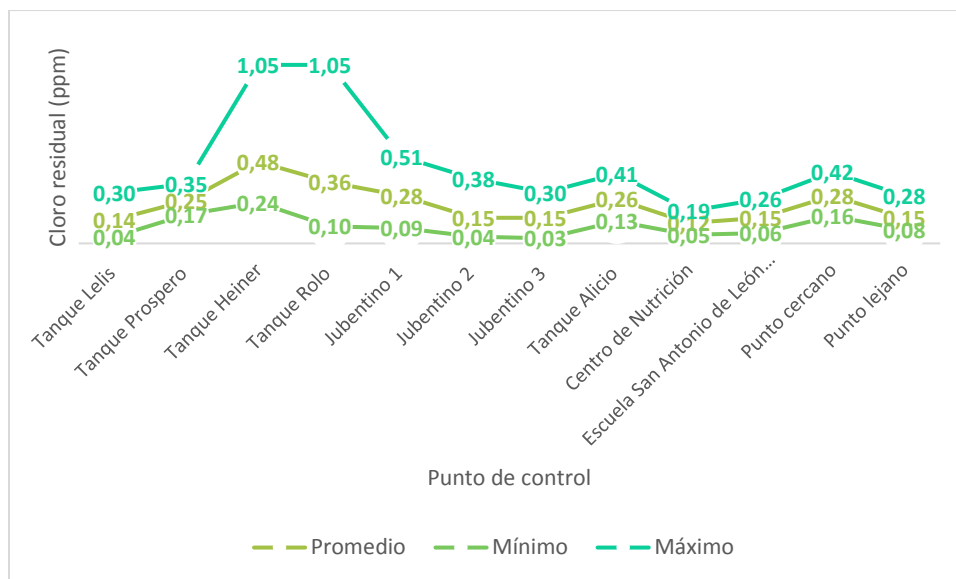


Figura 49. Promedio, mínimo y máximo del cloro residual libre durante el período de octubre de 2016-febrero de 2017

4.1.3.5. Potencial de hidrógeno (pH)

Según el Reglamento de Calidad de Agua Potable (2015) el rango permisible de para el potencial de hidrógeno es de 6,00- 8,00. Los datos obtenidos por mes para cada punto de control se detallan en el Apéndice 5 (Cuadro A.5.5.).

El rango promedio de potencial de hidrógeno fue de (4,27-5,88); (4,74-5,92) y (4,75-5,56) para las nacientes, tanques de almacenamiento y los puntos en la red de distribución respectivamente (véase el Cuadro 13); lo cual pone evidencia que el agua presenta un pH ácido en todos los puntos de control. Además; la cantidad puntos que cumplieron el rango establecido por el reglamento fue de uno para el mes de diciembre siendo el punto lejano a la cloración y para el mes de febrero se obtuvo cuatro puntos los cuales fueron: el punto lejano, tanque William, Naciente Los Mata y el Tanque Lelis.

Cuadro 13. Datos resumen de turbiedad para los puntos monitoreados de octubre 2016 a febrero de 2017

Lugar del muestreo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Tanque Lelis	5,50	4,94	6,95
Naciente Gildo Mena	4,27	3,94	4,37
Tanque Prospero	5,01	4,46	5,68
Tanque Heiner	4,50	3,96	4,76
Tanque Rolo	4,74	4,33	4,95
Jubentino 1	5,28	4,77	5,88
Jubentino 2	4,85	4,75	4,90
Jubentino 3	5,12	4,86	5,54
Naciente Los Gamboa 1	4,74	4,36	5,22
Naciente Los Gamboa 2	4,74	4,51	5,01
Filtro	4,54	4,39	4,66
Tanque Alicia	4,74	4,62	4,83
Naciente Los Mata	5,88	5,39	7,09
Centro de Nutrición	4,93	4,42	5,29
Escuela San Antonio L.C.	4,77	4,20	5,05
Punto cercano	4,75	4,49	5,18
Punto lejano	5,56	4,79	6,61
Tanque William	5,92	5,27	7,20

4.1.3.6. Temperatura

Según el Reglamento de Calidad de Agua Potable (2015) el rango permisible de para la temperatura es de 18-30 °C. Los datos obtenidos se detallan en el Apéndice 5 (Cuadro A.5.6.).

La medición de los datos de temperatura fue realizada en las mañanas dando inició entre las 5:30 a.m. y 6 a.m.; el rango promedio de temperatura durante los meses de monitoreo fue de: (16,50-17,70) °C; (16,70-18,60) °C y (17,60-18,40) °C para las nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución respectivamente. En general la temperatura más baja reportada durante la investigación fue de 14,90 °C en la naciente principal conocida con el nombre Gamboa 2 dicho dato fue medido en el mes de enero y el valor máximo de temperatura fue de 21 °C en el Tanque William en el mes de diciembre (véase el Cuadro 14).

Cuadro 14. Datos resumen de temperatura para los puntos monitoreados de octubre 2016 a febrero de 2017

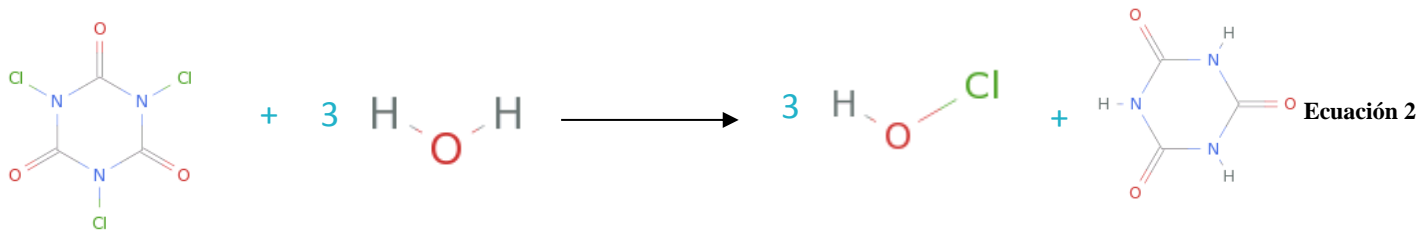
Lugar del muestreo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Tanque Lelis	18,3	17,0	19,4
Naciente Gildo Mena	17,7	17,4	18,0
Tanque Prospero	18,1	17,4	19,0
Tanque Heiner	16,9	16,1	17,7
Tanque Rolo	17,1	16,3	18,0
Jubentino 1	16,8	16,0	17,4
Jubentino 2	16,7	15,3	17,4
Jubentino 3	17,4	17,1	18,1
Naciente Los Gamboa 1	16,5	15,8	17,0
Naciente Los Gamboa 2	16,4	14,9	17,4
Filtro	16,8	16,4	17,6
Tanque Alicia	18,2	18,0	18,6
Naciente Los Mata	16,6	15,6	17,3
Centro de Nutrición	17,6	15,9	20,0
Escuela San Antonio L.C.	18,3	17,2	19,0
Punto cercano	18,4	16,9	20,0
Punto lejano	18,1	17,2	20,0
Tanque William	18,6	15,1	21,0

Con respecto al rango establecido en Reglamento de Calidad de Agua la cantidad de puntos monitoreados que cumplieron el criterio establecido en la legislación nacional fue del 44%.

4.1.4. Curva de punto de quiebre para la Naciente Gildo Mena, Gamboa N°1, Gamboa N°2 y Naciente los Mata

El acueducto posee un sistema de cloración con pastillas, inicialmente contaban con pastillas de hipoclorito de calcio (HCl pureza de 68%); no obstante, realizaron un cambio por pastillas de ácido tricloroisosianurico ($C_3Cl_3N_3O_3$) compuesto químico que tiene una pureza mínima de 90%, este compuesto posee una solubilidad en agua de 1,2g/100 ml (Xiquim S.A., 2009). Según (González, 2011) las pastillas de $C_3Cl_3N_3O_3$ al poseer una pureza mayor que las pastillas de hipoclorito de calcio genera una disminución en el gasto económico para el acueducto ya que las pastillas duran por más tiempo, además se comprobó que dichas pastillas pueden ser utilizadas en agua potable. La curva de la demanda de cloro fue realizada con $C_3Cl_3N_3O_3$ para las cuatro nacientes. La reacción química de la descomposición del $C_3Cl_3N_3O_3$ en agua esta detallada en la Ecuación 1 y en la Ecuación 2.





Para determinar la dosis óptima de cloro requerida con las características del agua de las nacientes se procedió a aplicar la metodología detallada en la sección 3.3.6. Los resultados obtenidos para las cuatro nacientes (véase la Figura 15) se detallan seguidamente.

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado para tratar un suministro de agua y la cantidad de cloro disponible total libre o combinado que queda después de un período de contacto, la demanda de cloro varía con la cantidad de cloro aplicada el tiempo de contacto, el pH y la temperatura (López Macías, 2000). La curva de punto de quiebre puede variar según la concentración de nitrógeno orgánico y amoniacal presentes en el agua.

En cada curva de punto de quiebre se observan tres zonas, en la Zona I se da la formación de monocloraminas (NH_2Cl) al existir un exceso de amoniaco, luego este compuesto se trasforma en dicloraminas (NHCl_2) al seguir incrementando la dosis de cloro llega un punto donde se disminuye estas reacciones hasta que llega a un valor mínimo (Zona II); es decir, las dicloraminas dejan de formarse debido que los compuesto de nitrógeno se acaban produciendo el punto de quiebre luego inicia la formación de las especies de cloro residual libre (Zona III) (López Macías, 2000).

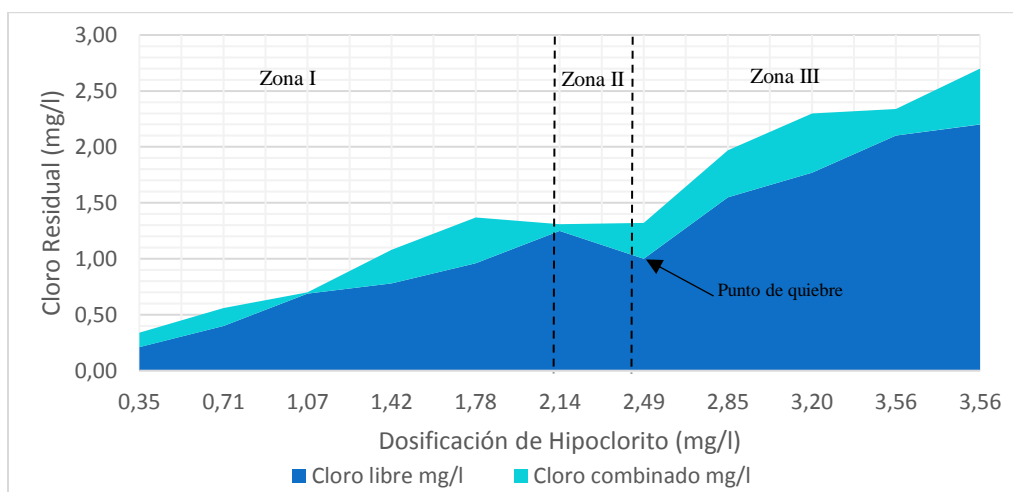


Figura 50. Curva de punto de quiebre para la Naciente Gamboa 2, elaborada el día 06/04/2017 a partir de una disolución de 350 mg/L

En la Figura 50 se puede observar que el punto de quiebre ocurre con una dosificación de 2,49 ppm para la Naciente Gamboa 2, esta naciente está conectada al Tanque Heiner (sitio de la cloración) y es la única naciente que está siendo clorando, este tanque carece de macro-

medidores por lo que fue necesario realizar un aforo volumétrico del caudal de entrada al tanque, dicho aforo fue realizado el día 19/04/2017 en conjunto con uno de los miembros del acueducto. Para consultar los datos obtenidos véase el Apéndice 6, el caudal promedio de entrada al Tanque de Heiner fue de 1,57 L/s. Para calcular el caudal de cloración se utilizó la Ecuación 3.

$$Q_1 = \frac{Q_2 * C_2}{C_1} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- C_1 = Concentración de cloro aplicada.
- Q_2 = Caudal de entrada al tanque.
- C_2 = Concentración de cloro requerido según el reglamento (se toma como referencia 0,40 mg/L).
- Q_1 = Caudal de cloro requerido.

Al proceder a aplicar la Ecuación 3 teniendo el caudal de entrada al Tanque Heiner y la dosis de cloro requerida, se obtuvo como resultado que se debe aplicar un caudal de cloración de 0,25 L/s. Por otra parte, se verificó para la Naciente Gildo Mena y la naciente principal Gamboa N°2 la presencia de metales pesados (Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso, Arsénico) donde para ambas nacientes no se encontró la presencia de ninguno de los metales pesados analizados (véase el Anexo 8). Para informar sobre este resultado del seguimiento del cloro residual libre en los puntos de control monitoreados se realizó una capacitación sobre el tema de cloración el día 25/04/2017 con los miembros de la junta administrativa, en la capacitación se explicó la importancia de la cloración, los principales métodos de desinfección del agua, las ventajas y desventajas de utilizar el cloro como desinfectante del agua, así se explicó los tipos de pastillas de cloro que existen en el mercado y el nivel de pureza de las mismas.

Durante la capacitación se explicó las reacciones químicas de hidrólisis de la pastilla, también se explicó sobre los tipos de cloración que se pueden realizar dependiendo las condiciones económicas del ente operador del recurso hídrico. Además, se comentó la metodología y resultados de la curva de punto de quiebre que permitió obtener la dosis optima de cloro que se debe añadir al agua analizada, también se les indicó la importancia de utilizar equipo de seguridad y cotizaciones de los mismos (véase el Anexo 9).

Para las otros tres nacientes no se cuenta con sistema de cloración; no obstante, se decidió de igual modo realizar la curva de punto de quiebre, para que dicha información fuese de utilidad en la toma de decisiones del acueducto para contar con el 100% de cloración en el abastecimiento de agua; así mismo se realizó estas pruebas para tener una evaluación completa del acueducto.

La Naciente los Mata fue uno de los puntos en los que se determinó la presencia de Coliformes Fecales y E.coli (véase el Apéndice 5: Cuadro A.5.3) al realizar la curva de punto de quiebre se determinó que la dosis de cloro requerida de cloro es de 1,78 ppm (véase la Figura 51) se conoce que el caudal promedio de dicha nacientes es de 0,40 L/s, con un caudal mínimo de 0,20 L/s y caudal máximo de 1,25 L/s según datos suministrados de los aforos realizados por el acueducto desde septiembre de 2013 hasta marzo de 2017 (véase el Apéndice 2). Con la Ecuación 3 se determinó un caudal de cloración igual a 0,08 L/s utilizando el caudal promedio de 0,40 L/s de la naciente, este caudal de cloración representa un 23% de la masa total de agua.

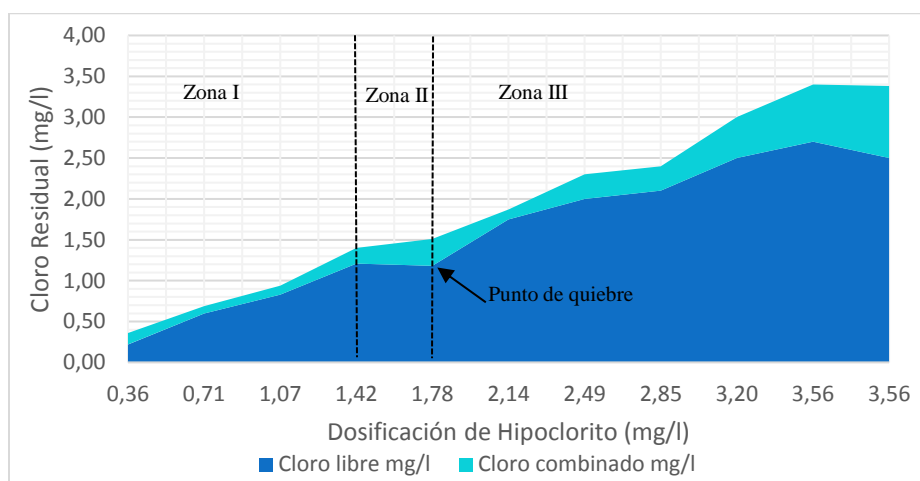


Figura 51. Curva de punto de quiebre para la Naciente Los Mata, elaborada el día 06/04/2017 a partir de una disolución de 350 mg/L

Por otra parte, con la curva de punto de quiebre para la Naciente Gamboa 1 se comprobó que el punto de quiebre se dio cuando la dosificación de ácido tricloisocianurico fue de 1,80 ppm (véase la Figura 52) mientras que para el caso de la Naciente Gildo Mena se obtuvo un punto de quiebre igual a 1,50 ppm (véase la Figura 53). Con la Ecuación 3 se determinó que el caudal de cloración es igual a 0,13 L/s y 0,26 L/s para la Naciente Gamboa 1 y Gildo Mena respectivamente. Además, se sabe que el caudal promedio de las nacientes fue de 0,61 L/s en la Naciente Gamboa 1 y 0,98 L/s en la Naciente Gildo Mena (véase el Apéndice 2).

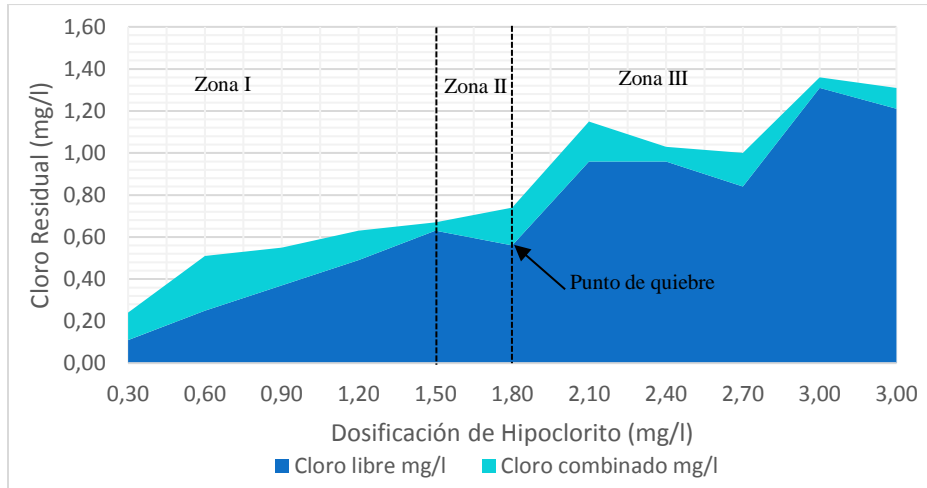


Figura 52. Curva de la demanda de cloro para la Naciente Gamboa 1, elaborada el día 04/05/2017 a partir de una disolución de 300 mg/L

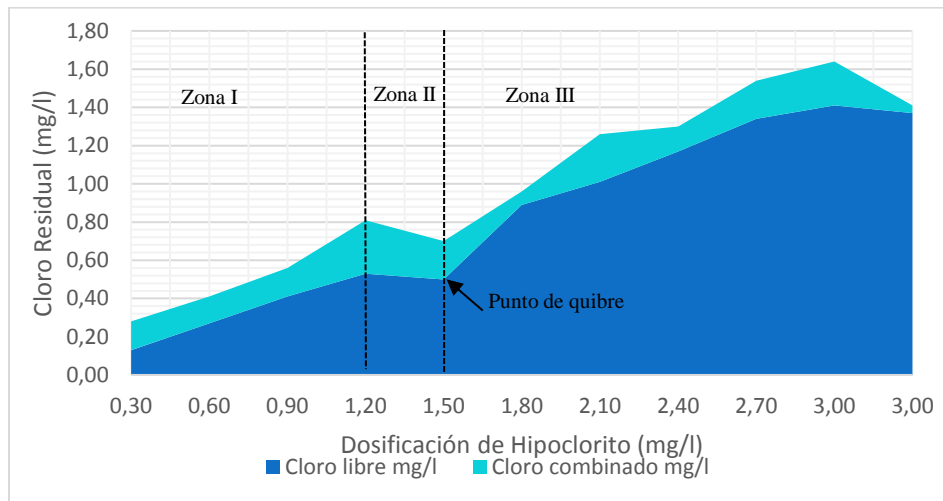


Figura 53. Curva de punto de quiebre para la Naciente Gildo Mena, elaborada el día 04/05/2017 a partir de una disolución de 300 mg/L

La selección del punto de quiebre para cada una de las nacientes del acueducto se determinó con la interpretación del gráfico de la curva de punto de quiebre, porque se conoce que en la zona I existe una demanda inmediata donde sustancias reductoras como sulfuros, ion ferroso, compuestos nitrogenados ejercen una demanda de cloro, luego de satisfacer esa demanda inicial por los compuestos reductores el ácido hipocloroso (HOCL) reacciona con el amoníaco y algunos compuestos orgánicos para producir monoclaminas (NH_2Cl) y dicloraminas (NHCl_2) (Zona II), al continuar la adición de cloro genera que el HOCL produzca una disminución del cloro residual combinado (NH_2Cl y NHCl_2) cuando la oxidación es completa (llamada el punto de quiebre) la adición de más cloro produce un incremento en la cantidad de cloro residual libre disponible es decir ácido hipocloroso (HOCL) (Zona III) produciendo el compuesto de cloro requerido (Barba & Ortiz, 1989).

4.2. Oferta y demanda actual y proyecciones

En este apartado se detalla los resultados obtenidos de la oferta y demanda actual y las proyecciones realizadas para el acueducto.

4.2.1. Oferta del recurso hídrico

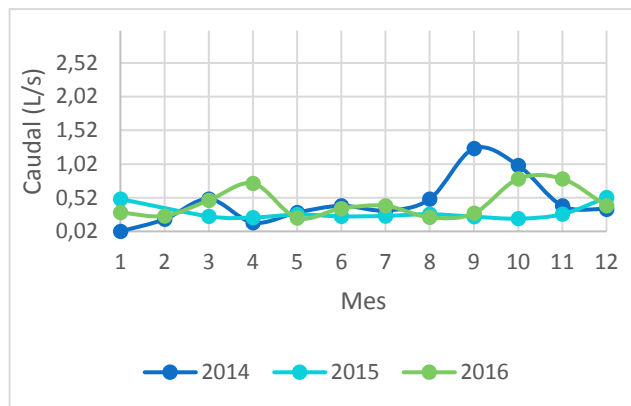
Los datos de los registros de aforos se encuentran en el Apéndice 2, se analizó los datos de aforos desde Enero de 2014 hasta diciembre de 2016 para analizar el comportamiento gráfico y variaciones en el caudal de las nacientes durante tres años completos (véase la Figura 54), además se calculó el caudal promedio, máximo y mínimo histórico considerando los caudales de septiembre del año 2013 a marzo 2017 (véase el Cuadro 15).

Cuadro 15. Datos históricos de caudal para las cuatro nacientes en el período de Septiembre 2013-Marzo 2017

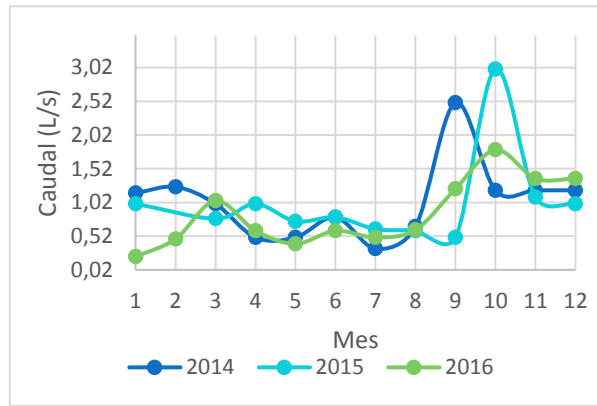
Dato	Naciente Los Mata	Naciente Gildo	Naciente Gamboa 1	Naciente Gamboa 2
Caudal promedio (L/s)	0,40	0,98	0,61	6,17
Caudal mínimo (L/s)	0,02	0,21	0,10	1,50
Caudal máximo (L/s)	1,25	3,00	1,75	12,00

En el Cuadro 15 se puede observar que para la Naciente Los Mata se obtuvo un caudal promedio del 0,40 L/s lo que representa una producción por año de 12456 m³ de agua, el caudal mínimo reportado fue de 0,20 L/s para enero de 2014 y un caudal máximo de 1,25 L/s. Para la Naciente de Gildo Mena se obtuvo un caudal promedio de 0,98 L/s, lo que corresponde a una producción de 31031 m³ de agua por año, con un caudal mínimo y máximo de 0,21 L/s y 3,00 L/s respectivamente. Por otro lado, para la Naciente Gamboa 1 se obtuvo un caudal promedio de 0,61 L/s que constituye una producción de 19079 m³ de agua al año; mientras que para el caso de la Naciente Gamboa 2 considerando que es la naciente principal cuenta con el mayor caudal promedio de todas las nacientes con un dato igual a 6,17 L/s que corresponde a una producción 194482 m³ de agua por año, para esta naciente se obtuvo un caudal mínimo y máximo de 1,50 L/s y 12,00 L/s respectivamente.

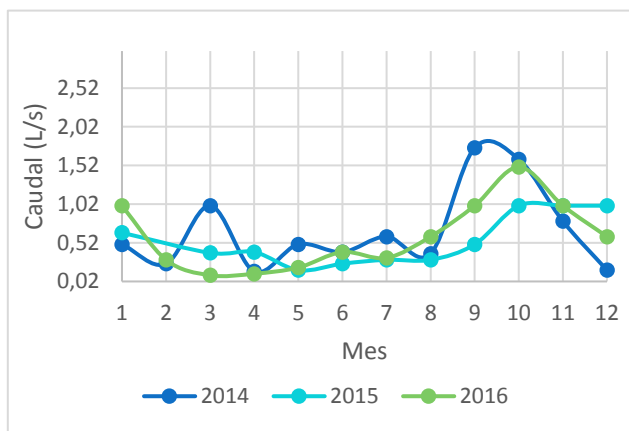
Por otra parte, la suma de la producción promedio de las cuatro nacientes por año se tiene que el acueducto de San Antonio tiene una oferta en promedio de 257048 m³ de agua por año, lo que implica que del total producido por la Naciente Los Mata, Naciente Gildo Mena, Naciente Gamboa 1 y Gamboa 2 aporta un 5%,12%, 7% y 76% respectivamente.



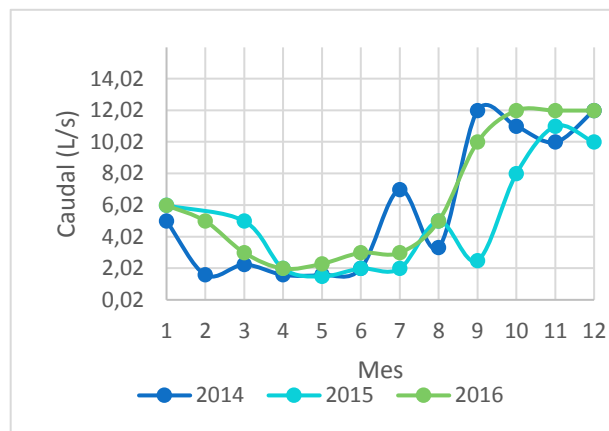
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 54. Comportamiento del caudal para (a) Naciente Los Mata, (b) Naciente Gildo Mena, (c) Naciente Gamboa 1 y (d) Naciente Gamboa 2 para el año 2014,2015 y 2016

En la Figura 54 se ilustra el comportamiento histórico del caudal en el año 2014, 2015 y 2016 de las cuatro nacientes evaluadas, donde se puede observar que para el caso de los meses de enero a setiembre se dio un comportamiento similar en los tres años mientras que para los meses octubre a diciembre si divergen los datos de un año a otro.

4.2.2. Consumo actual del recurso hídrico.

Para determinar el consumo actual, se analizó la información de los consumos fue separada en tres categorías: comercial, institucional y residencial tomando como referencia el catastro de usuarios del acueducto (véase la Figura 13), posteriormente se calculó el consumo promedio mensual y consumo total mensual y el indicador de dotación residencial.

Cuadro 16. Consumo promedio mensual para el sector residencial, comercial y residencial del acueducto

Mes	Consumo promedio (m ³ /usuario*mes)			Dotación Residencial (m ³ /hab*mes) *	Dotación Residencial (L/hab*día)
	Residencial	Comercial	Institucional		
Enero-16	12	14	12	2,0	65
Febrero-16	14	15	28	2,3	80
Marzo-16	14	13	26	2,3	75
Abril-16	13	15	34	2,2	72
Mayo-16	12	17	35	2,0	65
Junio-16	13	14	35	2,2	72
Julio-16	13	13	23	2,2	70
Agosto-16	14	14	39	2,3	75
Septiembre-16	12	12	38	2,0	67
Octubre-16	12	9	39	2,0	65
Noviembre-16	12	12	37	2,0	67
Diciembre-16	11	11	21	1,8	59
Enero-17	15	10	15	2,5	81
Febrero-17	15	18	37	2,5	89
Promedio	13	13	30	2,2	72
Mínimo	11	9	12	1,8	59
Máximo	15	18	39	2,5	89
Desviación estándar	1	2	9	0,2	8

*La dotación residencial se calculó con un promedio de 6 habitantes por casa dato obtenido de la división de la población total en el último censo (1106) entre la cantidad de casas (194).

En el

Cuadro 16 se observan los consumos promedios mensuales por categorías donde el sector residencial, comercial e institucional representan el 92%, 7% y 1% respectivamente del total de abanados; el promedio mensual consumido por el sector residencial fue de 13 m³ con un valor máximo y mínimo de 11 y 15 m³. Por otro lado, para el caso del comercio se obtuvo un promedio mensual igual que el residencial, pero con un mínimo y máximo de 9 y 18 m³ por mes respectivamente. No obstante, para el caso del sector institucional se obtuvo un promedio mensual de 30 m³ con mínimo y máximo de 12 y 39 m³/mes respectivamente. Otro dato que se extrajo con los consumos facturados por el acueducto fue el indicador de la dotación promedio para el sector residencial de 72 (L/hab*día) con una dotación mínima y máxima de 59 y 89 (L/hab*día) respectivamente.

Ahora bien, con la información del

Cuadro 16 se calculó el consumo total por mes realizando la sumatoria del consumo promedio por mes multiplicado por los usuarios correspondientes a cada categoría(194 para sector residencial, 15 para comercial y 3 para el sector institucional), con ello se obtuvo que el consumo total fue de 2807 m³/mes lo que corresponde a una demanda o consumo de 33684 m³/ año y se sabe que el acueducto cuenta con una oferta de 257048 m³/ año, lo que implica que solo el 13% del total producido del recurso hídrico fue consumido por los usuarios de la comunidad de estudio.

En la Figura 55 se ilustra que el sector comercial e institucional se comportan de manera muy homogénea cuando se analiza el consumo promedio total, mientras que el consumo total residencial es mayor dado la cantidad de usuarios.

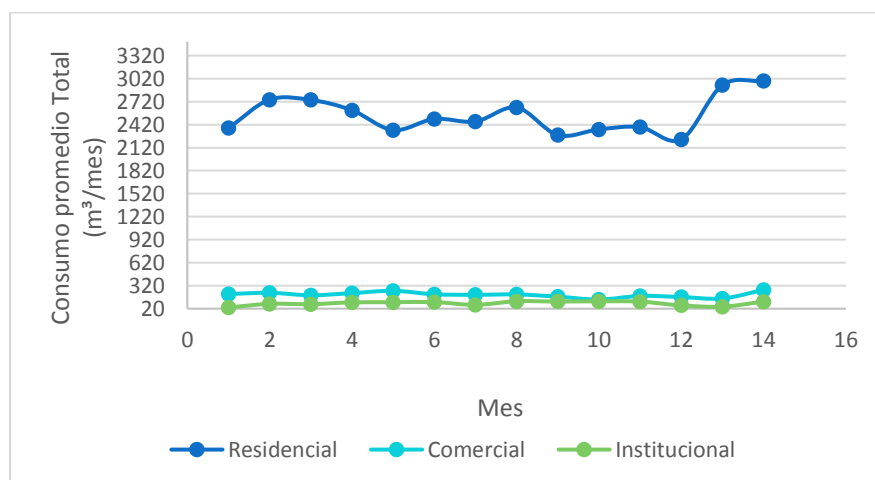


Figura 55. Comportamiento del consumo total promedio^a (m³/mes) para el sector comercial, residencial e institucional. (a: El consumo total promedio corresponde al consumo promedio por mes multiplicado por la cantidad de usuarios)

Ahora bien, considerando la demanda y la oferta es posible determinar cuántas casas más puede abastecer el acueducto con la oferta actual, para determinar la cantidad de casas se analizó los caudales mínimos de cada naciente considerando la época más crítica, para realizar la estimación se consideró una oferta mínima total de las cuatro nacientes igual a 1,83 L/s (dato extraído del Cuadro 15), lo que representa una oferta mínima de 57837 m³/año (véase la Ecuación 4)

$$Oferta\ mínima\ anual = \frac{1,834\ L}{s} * \frac{60s}{1\ min} * \frac{60\ min}{1\ h} * \frac{24\ h}{1\ día} * \frac{365\ días}{1\ año} * \frac{1m^3}{1000\ L} = 57837\ m^3/año \quad Ecuación\ 4$$

Considerando la Ecuación 5 se determinó que el excedente anual del recurso hídrico es de 24153 m³/año, asumiendo un consumo total anual por casa de 360 m³/año, la cantidad de casas que puede abastecer el acueducto es de 67 hogares más (dato obtenido de la división entre el excedente anual y el consumo anual por casa).

$$\text{Oferta mínima anual}(57837) - \text{demanda anual}(33684) = \text{Excedente anual}(24153) \quad \text{Ecuación 5}$$

4.2.3. Proyección futura de la población.

Para determinar el incremento de la población se procedió a aplicar la metodología descrita en la sección 3.3.10.1, los datos de población total de la comunidad de San Antonio de León Cortés para los censos del año 2000 y 2011 realizados por el INEC se detalla en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Datos de la población de la comunidad de San Antonio de León Cortés. Tomado de (INEC, 2017)

Año	Población Total	Cantidad de hombres	Cantidad de mujeres
2000	925	470	455
2011	1106	563	543

Aplicando los modelos matemáticos detallados en el Anexo 3 se obtuvo la proyección de la población futura, se interpola la población para el año 2017 y a partir de este se estimó el incremento de población en un lapso de 25 años utilizando un intervalo de 5 años entre cada proyección poblacional. Los datos obtenidos para de la proyección poblacional se detallan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Datos de la proyección poblacional bajo el modelo aritmético, geométrico y exponencial

Año	Población INEC	Método de incremento poblacional (Hab)			
		Aritmético	Geométrico	Exponencial	Promedio
2000	925	925	925	925	925
2011	1106	1106	1106	1106	1106
2017		1205	1220	1220	1215
2022		1288	1324	1324	1312
2027		1371	1437	1437	1415
2032		1454	1559	1559	1524
2037		1537	1691	1691	1640
2042		1620	1835	1835	1763

Los modelos matemáticos aplicados para el cálculo de la proyección poblacional (aritmético, geométrico y exponencial) son detallados de la misma manera en (López Cualla, 2003)

&(Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010), en el Cuadro 18 se puede observar que mediante el modelo geométrico y exponencial se obtuvieron los mismos datos de proyección poblacional, comportamiento que está respaldado en la teoría, dado que ambos modelos matemáticos tienen a parecerse (Torres-Degró, 2011). Los datos de población para el año 2017 fueron de 1205, 1220 y 1220 según el modelo aritmético, geométrico y exponencial respectivamente, con un promedio de población total entre los tres modelos de 1215.

Por otra parte, con una proyección de 25 años a partir de la interpolación realizada del año 2017 se puede observar que para el año 2042 la población será de 1620, 1835 y 1835 según el modelo aritmético, geométrico y exponencial respectivamente, con un promedio de población entre los tres modelos de 1763 habitantes para el año 2042. Asumiendo el promedio entre los tres modelos matemático para el incremento de la población a partir del año 2017 en 25 años la población incrementará 548 habitantes; considerando el promedio de incremento poblacional de 548 y 6 personas por hogar la comunidad de San Antonio de León Cortés contará con 91 hogares más para el año 2042.

Para visualizar de mejor manera el crecimiento de la población proyectado se realizó un diagrama de dispersión comparando los tres modelos matemáticos y el promedio entre los tres modelos (véase la Figura 56).

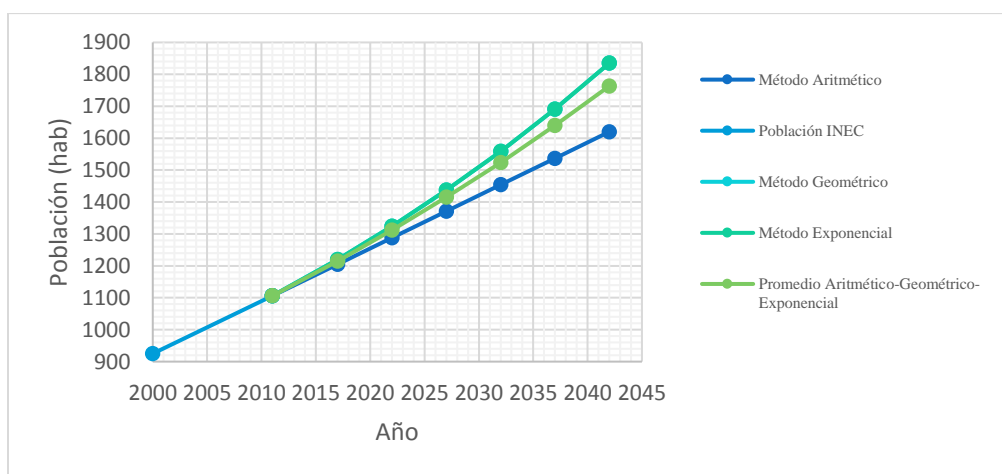


Figura 56. Proyecciones de crecimiento poblacional para la comunidad de San Antonio de León Cortés

En la Figura 56 se puede observar que para el modelo geométrico y exponencial la línea de tendencia es misma, y el menor incremento de población se da mediante el modelo aritmético, la línea de del año 2000 al 2011 representa los dos datos de la población tomada a partir de (INEC, 2017); además se calculó el promedio de los tres modelos que fue representada por la línea central de la Figura 56.

Por otra parte, con los modelos matemáticos de la tasa de crecimiento poblacional detallados en el Anexo 2, se procedió a determinar las tasas de crecimiento poblacional, datos que se ilustran en el

Cuadro 19; estas tasas de crecimiento fueron la base para la elaboración del Cuadro 18, dado que no se tenían datos de población de censos anteriores al año 2000 para la comunidad en estudio no se pudo calcular más tasas de crecimiento poblacional.

Cuadro 19. Tasas de crecimiento poblacional mediante el modelo aritmético, geométrico exponencial y el promedio

Año	Población (Hab)*	Amplitud (a)	Tasa de crecimiento poblacional (r)			
			Aritmético	Geométrico	Exponencial	Promedio
2000	925		--	--	--	--
2011	1106	11	1,78	1,64	1,63	1,68

*Datos tomados de (INEC, 2017)

Según (Torres-Degró, 2011) es posible determinar el tiempo de duplicación de la población con el logaritmo natural dos dividido entre la tasa de crecimiento poblacional, haciendo uso de la Ecuación 6

$$t = \frac{\ln 2}{r} \text{ Ecuación 6}$$

Dónde:

t : Tiempo de duplicación de la población.

r: tasa de crecimiento poblacional anual en su expresión natural, no es por ciento.

ln: logaritmo natural.

Aplicando la Ecuación 6 se determinó el tiempo de duplicación de la población para la tasa de crecimiento aritmética, geométrica y exponencial, dichos cálculos se ilustran en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Tiempo de duplicación de la población según la tasa de crecimiento aritmética, geométrica y exponencial

Tasa de crecimiento poblacional*	Tiempo de duplicación (años)
Aritmético	39
Geométrico	42
Exponencial	43
Promedio	41

*Estos datos se extrajeron del

Cuadro 19.

Es decir, considerando como base el último censo del 2011 con una población total de 1106 personas, aplicando la Ecuación 6 se determinó que la población se duplicará en 39, 42, 43 y

41 años con la tasa de crecimiento poblacional aritmético, geométrico, exponencial y el promedio entre los tres modelos respectivamente (véase el Cuadro 16).

4.2.4. Proyección de la demanda futura

La dotación bruta ($\text{m}^3/\text{hab}*\text{mes}$ y $\text{L}/\text{hab}*\text{día}$) es “*la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema*” (Comisión Nacional del Agua, 2015). Para determinar la demanda o bien el consumo futuro de agua que tendrá en el acueducto en estudio se procedió a aplicar la metodología detallada en el Apartado 3.3.10.2; donde los modelos matemáticos se detallaron en el Anexo 4.

El “*Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS*” del año 2010 sugiere una dotación neta de $125 \text{ L}/\text{hab}*\text{día}$; no obstante, según la legislación nacional la dotación neta para comunidades rurales es de $200 \text{ L}/\text{hab}*\text{día}$ (AYA, 2016).

Para la estimación de la dotación bruta se consideró que la dotación neta máxima del acueducto durante el año 2016 fue de $89 \text{ L}/\text{hab}*\text{día}$, dado que no se tenían más datos de más años se decidió utilizar una dotación neta de $125 \text{ L}/\text{hab}*\text{día}$ (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010) y un porcentaje de pérdidas del 17%; es decir aplicando la Ecuación 15 la dotación bruta fue de $150 \text{ L}/\text{hab}*\text{día}$, por otra parte el porcentaje de pérdidas real no fue posible calcularlo porque el acueducto no cuenta con macro-medición, razón por la cual se asumió un dato teórico.

Los resultados obtenidos para la demanda futura del recurso hídrico calculada mediante el caudal medio diario, máximo diario y máximo horario se detallan en el Apéndice 7, donde se puede observar que la mayor demanda para el año 2042 se dio haciendo uso de la población del modelo geométrico y exponencial donde se obtuvo una demanda media diaria de $3,20 \text{ L}/\text{s}$, una demanda máxima diaria de $3,84 \text{ L}/\text{s}$ y una demanda máxima horaria de $6,91 \text{ L}/\text{s}$.

Es importante recalcar que se utilizó una oferta del recurso hídrico con el caudal promedio total de $8,15 \text{ L}/\text{s}$ (véase el Cuadro 15). Se elaboró un diagrama de dispersión con el promedio entre los modelos para que forma de forma visual se pudiera identificar el momento donde la oferta del recurso hídrico no sería suficiente para satisfacer la demanda. Este gráfico se ilustra en la Figura 57.

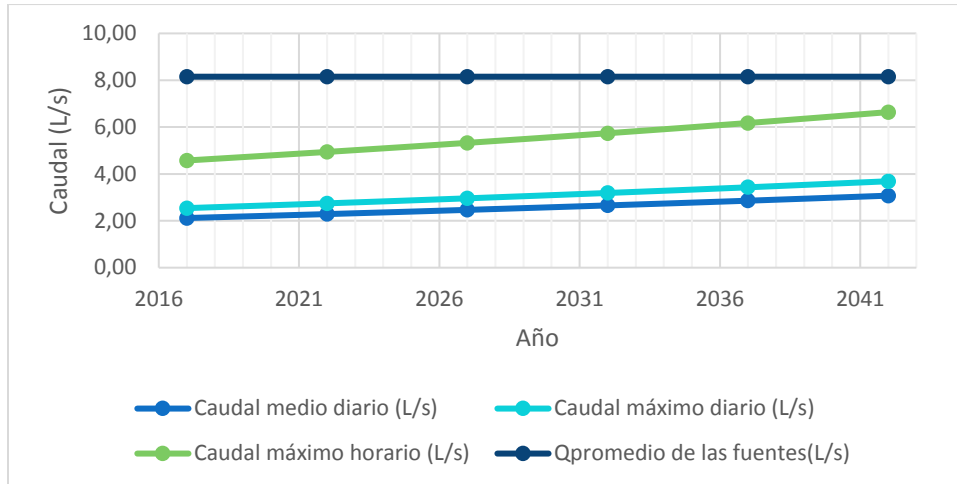


Figura 57. Balance de la oferta y demanda con la estimación de la población calculada con el promedio entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético para el periodo 2017-2042

En la Figura 57, se puede observar que con la población calculada con el promedio la oferta promedio del acueducto satisface la demanda futura hasta el año 2042 sin evidencia de faltante de agua.

4.2.4.1. Escenario futuro de disponibilidad del recurso hídrico

Para determinar la disponibilidad del recurso hídrico se planteó un escenario según lo estipulado por el Instituto Costarricense de Acueducto y Alcantarillados (2016), considerando que el caudal promedio de 8,15 L/s se mantiene constante a lo largo de la proyección realizada (véase el Cuadro 15); además se consideró un porcentaje de pérdidas trabajado del 20%. Así mismo, el cálculo el caudal medio, máximo diario y máximo horario se estimó con la proyección poblacional del promedio entre el modelo aritmético, geométrico, exponencial. La dotación neta utilizada fue de 200 L/Hab* $\text{d}\acute{\text{a}}$ (AYA, 2016) dicha dotación permanece constante a lo largo de la proyección.

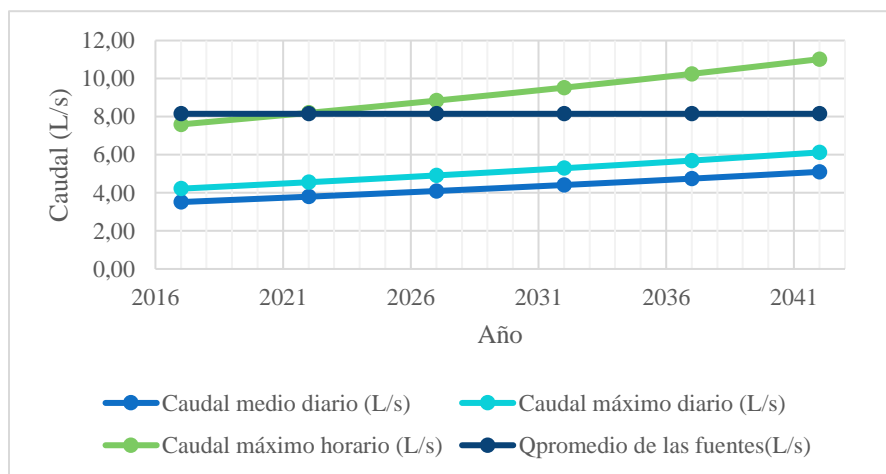


Figura 58. Balance de la oferta y demanda bajo la metodología del AYA con la estimación de la población calculada con el promedio entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético para el periodo 2017-2042

En la Figura 58 se puede observar que la demanda futura calculada con una oferta promedio es de 8,15 L/s utilizando la población promedio entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético se evidencia de faltante de agua para el caudal máximo horario en el abastecimiento de la población futura a partir del año 2022; es decir, el acueducto presentará problemas en horas del día donde la oferta de agua no será suficiente para satisfacer la demanda requerida con el incremento de la población estimada. Utilizando el promedio entre los modelos para el año 2022 evidencia un déficit de 0,05 L/s y para el año 2042 se observó un faltante de 2,87 L/s para satisfacer el caudal máximo horario. Los cálculos obtenidos en este escenario se detallan en el Apéndice 9.

Con el promedio de crecimiento poblacional se determinó que la población para el año 2017 es igual a 1215 habitantes y para el año 2042 será de 1763 habitantes lo que representa un incremento de 548 habitantes, considerando un promedio de 6 habitantes por casa, el acueducto incrementará en 92 hogares (véase el Apéndice 9 Cuadro A.9.3).

5. CONCLUSIONES

Con la evaluación SERSA realizada en los componentes hidráulicos del acueducto se determinó que existen componentes con nivel de riesgo alto, intermedio y bajo.

Según la encuesta realizada se concluye que las personas desconocen el funcionamiento de un micro-medidor y la tarifa dada por el ARESEP, el núcleo familiar está constituido de 4-5 personas, los usuarios aseguran no tener problemas por faltante de agua; además se determinó que la mayoría no reportan la presencia de olor, sabor y turbiedad en el agua que llega a su residencia. Por otra parte; la mayoría indicó conocer que el agua que llega hasta sus hogares es clorada.

Del monitoreo realizado en los 18 puntos de control entre el período de octubre 2016 a febrero 2017 se determinó que no existe problemas de turbiedad, conductividad y temperatura, se encontró contaminación por coliformes fecales y E.coli que sobrepasaron el máximo permitido por el reglamento. El cloro residual libre fue uno de los parámetros que presentó el mayor incumplimiento del reglamento de calidad de agua potable. Además, se determinó que las muestras de agua analizadas presentaron un pH ácido.

Con respecto a la curva de la demanda de cloro se determinó que la dosis óptima de cloro está por debajo de 2,50 ppm para la Naciente Gamboa N°2, Naciente los Mata, Naciente Gamboa N°1 y Naciente Gildo Mena. Las nacientes analizadas requieren bajos caudales de cloración.

Con el análisis de la oferta y la demanda del recurso hídrico se determinó que el acueducto cuenta con una oferta de 257048 m³/año, una demanda o consumo igual el 13% del total producido; además se determinó que la dotación promedio residencial es de 72 L/Hab*día. La estimación de la demanda futura no evidencia problemas por faltante de agua durante la proyección realizada durante los 25 años de la proyección realizada a partir del año 2017. No obstante, la estimación de la disponibilidad del recurso hídrico con el escenario negativo utilizando la metodología del AYA evidenció un faltante de agua para satisfacer el caudal máximo horario a partir del año 2022 utilizando el promedio de crecimiento poblacional entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético. Por otra parte, para el año 2042 el acueducto incrementará en 92 hogares; no obstante, considerando la oferta mínima el acueducto solo podrá satisfacer 67 de los 92 hogares para el período proyectado.

Se requiere más investigaciones en acueductos rurales, que permitan determinar el nivel de vulnerabilidad de los componentes hidráulicos y registro de parámetros reales que permitan tomar decisiones futuras sobre el recurso hídrico.

6. RECOMENDACIONES

- Colocar malla de protección en las zonas de captación y tanques de almacenamiento; así mismo, se deben construir canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía en cada una de las nacientes.
- Llevar el control operativo midiendo pH, olor, sabor, cloro residual libre y turbiedad de forma mensual según lo establece el Reglamento para la Calidad de Agua Potable.
- Llevar el registro de temperatura en las nacientes como parte del control operativo.
- Instalar un cierre seguro en la tapa sanitaria ubicada en la Naciente los Mata.
- Colocar una pizarra informativa en la oficina del acueducto como un medio de comunicación de asuntos importantes del acueducto.
- En los días de pago del agua, entregar a los usuarios boletines informativos sobre temas educativos y relevantes al acueducto. Ejemplo: “¿Cómo funciona un micro-medidor?”, “¿Por qué es importante clorar el agua?”, “¿Qué es el sello de calidad del agua?” entre otros temas.
- Aforar el caudal de cloración y el caudal de entrada al tanque de Heiner al menos una vez al mes, registrando dichos datos en una bitácora como se indicó en el manual de operación.

- Realizar un lavado en los tanques de almacenamiento trimestralmente, anotando las observaciones, responsable, hora y fecha en que se realizó el lavado dichas indicaciones deben ser anotadas en una bitácora de trabajo como parte del control y registro de evidencia en los trabajos realizados por el acueducto.
- Construir aceras en los alrededores de los tanques de almacenamiento.
- Clorar todas las nacientes de agua siguiendo los datos obtenidos en las curvas de punto de quiebre obtenidas para cada nacimiento.
- Colocar una rotulación en cada nacimiento y tanque de almacenamiento indicando el nombre del componente hidráulico y la elevación de los mismos.
- Realizar una auditoría volumétrica para evaluar el adecuado funcionamiento del acueducto.
- Utilizar el manual de operación elaborado, como guía para realizar el monitoreo del control operativo de forma mensual.
- Se sugiere realizar un nuevo proyecto de investigación realizando la implementación de un prototipo de filtro con piedra caliza en las cuatro nacientes del acueducto, dado que en esta investigación se determinó que el agua es de origen ácido, en dicha investigación se debe evaluar la factibilidad de implementar filtros de piedra caliza u otro material que incremente el nivel de acidez y con esto determinar el tiempo de retención y la velocidad del flujo que se requieren según la composición química del agua de la Naciente Gildo Mena, Gamboa N°1 y N°2 y Naciente los Mata. Con los datos que se obtengan en esta investigación será factible realizar con exactitud el diseño de un adecuado filtro para la Naciente Gildo Mena, Gamboa N°1 y N°2 y Naciente los Mata.
- Utilizar los equipos de seguridad en la manipulación y colocación de las pastillas.
- Reducir el tamaño del respiradero en el Tanque principal a 50 cm.
- Colocar rótulos de seguridad para las pastillas de ácido tricloroisocianurico y el triángulo de NFPA en el área de almacenamiento.
- Se debe de analizar la demanda actual considerando más años de estudio de la micro-medición para validar que la cantidad de casas que puede abastecer el acueducto a nivel futuro.

7. REFERENCIAS

- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo 1*. (R. Pertuz Molina, Ed.) (Tercera ed). Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo 2*. (Tercera Ed). Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.
- AyA. (n.d.). Manual Informativo Manual informativo Aspectos básicos para la gestión de las nuevas Juntas Directivas de las ASADAS. Tomado de [https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Aspectos Básicos de las ASADAS.pdf](https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Aspectos_Básicos_de_las_ASADAS.pdf)
- AyA. (2007). Programa nacional de mejoramiento y sostenibilidad de la calidad del servicio de agua potable 2007-2015. Tres Ríos, Cartago. Tomado de <http://faolex.fao.org/docs/pdf/cos74385.pdf>
- AYA. (2009). Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua. Costa Rica: La Gaceta No. 154.
- AYA. (2016). Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de

agua potable, de saneamiento y sistema pluvial “Sistema de abastecimiento de agua potable.” Costa Rica. Tomado de https://servicios.cfia.or.cr/Boletines/Archivos/ArchivosAdjuntos/201608/131169804732113747_SAP_julio 2016_CP_F_A.pdf

- Barba, L. E., & Ortiz, C. A. (1989). *Química del Agua*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del valle.
- Bosque, R., & Higinio, F. (2006). Química general. In *Química general* (pp. 125–127). McGraw-Hill Interamericana.
- Brown, T. (2004). *Química La Ciencia Central*. (E. LeMay, B. Bursten, & J. Burdge, Eds.) (Novena edi). México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V. Tomado de <https://quimicafundamental.files.wordpress.com/2012/08/quc3admica-la-ciencia-central-brown.pdf>
- Chowdhury, S., Mazumder, M. A. J., Al-Attas, O., & Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of The Total Environment*, 569–570, 476–488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>
- Colombiana de Salud S.A. (2009). Protocolo de lavado de tanques.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado* (4th ed.). México.
- Echeverría, J., & Cantillo, B. (2013). Instrumentos económicos para la gestión del agua. *Ambientales, No. 45*(1409–2158), 13–22.
- Edzwald, J. (2011a). Chapter 10. Granular media Filtration. In *Water Quality & Treatment A Handbook on Drinking Water* (6ta edición, p. 10.9-10.11). Estados Unidos: American Water Works Association.
- Edzwald, J. (2011b). Chapter 17. Chemical disinfection. In *Water Quality & Treatment A Handbook on Drinking Water* (6ta edición, p. 17.1;17.2). Estados Unidos: American Public Health Association.
- Edzwald, J. (2011c). Chapter 9. Sedimentation and flotation. In *Water Quality & Treatment A Handbook on Drinking Water* (6ta edición, p. 9.4-9.9). Estado Unidos: American Water Works Association.
- El Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. (1942). Ley de aguas No. 276.
- Estado de la Nación. (2014). *Vigésimo primer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Un análisis amplio y objetivo sobre la Costa Rica que tenemos a partir de los indicadores más actuales (2014)*. Pavas, Costa Rica. Tomado de <http://www.estadonacion.or.cr/21/assets/pen-21-2015-baja.pdf>
- Fairuz Omar, A., & Mat Jafri, M. Z. (2013). *Optical System in Measurement of Water Turbidity: Design and Analytical Approach (Penerbit USM)*. (R. Radli, Ed.). Negara, Malaysia: Penerbit University Sains Malaysia.

- Fallas Yamashita, V. (2014). *Evaluación, caracterización de fuentes de agua y proyecciones del sistema de abastecimiento de agua de Agujitas, Cantón de Osa*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Fuccz Gamboa, J., Gómez Moreno, R., & Cárdenas Guzmán, M. (2007). *Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración*. (Segunda Ed). Red Universitas Scientiarum.
- González, A. (2011). *Desinfección del agua, mediante el uso del ácido tricloroisocianúrico*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- I.N.A.A. (2000). Manual de operacion y mantenimiento de sistemas de suministro de agua en el medio rural.
- INEC. (2017). Instituto nacional de estadística y censos, Costa Rica. Tomado de May 15, 2017, from <http://www.inec.go.cr/censos/censos-2000>
- Ingenieros Consultores y Ejecutores de Acueductos S.A. (2011). *Estudio y Evaluación y Diseño, Sistema de Agua Potable Acueducto San Antonio*.
- Komninos, N. (2009). *Sensor Applications, Experimentation, and Logistics*. Grecia: Athens Information Technology.
- La Gaceta No.150. (2005). Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales No 32529-S-MINAE.
- La Gaceta No.170. (2015). Reglamento para la calidad del agua potable No. 38924-S.
- La Gaceta No.222. (1973). Ley General de Salud No. 5395.
- La Gaceta No.96. (2002). Ley del Sistema Nacional para la Calidad No. 8279.
- Lenntech. (2016). Conductividad del agua. Tomado de <http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>
- Ley Forestal No.7575. (1995).
- López, N. (2013, June 27). Más de 11.000 personas en Guanacaste y San Carlos siguen tomando agua contaminada con arsénico. *La Nación*. Tomado de http://www.nacion.com/nacional/Guanacaste-San-Carlos-contaminada-arsenico_0_1350265024.html
- López Cualla, A. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados* (2nd ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- López Macías, P. (2000). *Prácticas de Laboratorio Química Sanitaria II, Manual Teórico Práctico*. Colombia.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS TÍTULO B Sistemas de Acueducto*. Colombia.
- Monge, E., Paz, L., & Ovares, C. (2013). *Manual para las Asociaciones Administradoras de*

Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) de Costa Rica. Costa Rica. Tomado de <https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Manual para las ASADAS - Cedarena - Transparencia y Rendición de Cuentas.pdf>

- Montero, V. (2013). *Laboratorio de Microbiología Ambiental*. (J. Fabiola, Ed.). Cartago, Costa Rica.
- Montero Campos, V., Quesada Kimsey, J., Ledezma Espinoza, A., & Sandoval Mora, J. (2010). Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consumo humano de la provincia de. *Acta Médica Costarricense*, 52(1-6002-101), 96-101. Tomado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/amc/v52n2/art07v52n2.pdf>
- Morales, J., & Rodríguez, L. (2007). *Economía del agua: escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas* (1st ed.). México.
- National Geographic. (2010, April). Reporte especial Agua un Mundo Sediento, 24.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Agua, nota descriptiva No. 391. Tomado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Organización Panamericana. (2004, February). Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas. San José, Costa Rica.
- Organización Panamericana de la Salud. (1988). *Guías para la calidad del agua potable*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Lima.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012a). Aluminium (3500-Al)/Eriochrome Cyanine R Methods. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, p. 3-(61-64)). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012b). Calcium (3500-Ca)/EDTA Titrimetric Method. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012c). Conductivity(2510). In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, pp. 2-52). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012d). Copper (3500-Cu)/Neocuproine Method. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, pp. 3-74). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012e). Flame atomic absortion spectometry (3111)/ Direct air-acetylene flame method. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, pp. 3-18). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012f). Iron (3500-Fe)/ Phenantroline Method. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, p. 3-(77-80)). Washigton: American Public Health Association.

- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012g). Odor (2150)/Threshold odor test. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, p. 2–(15–19)). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012h). pH value (4500 -H+)/Electrometric method. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, p. 4–(92–96)). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012i). Taste(2160)/Flavor Threshold Test. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, p. 2–(19–21)). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012j). Temperature (2550)/Laboratory field methods. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 edición, pp. 2–69). Washigton: American Public Health Association.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., & Clesceri, L. (2012k). Turbidity (2130)/Nephelometric Method. In *Standar Methods For the Examination of water and wastewater* (22 nd Edic, pp. 2-12-13). Washigton: American Public Health Association.
- Sánchez, D. (2007). *Filtración en Múltiples Etapas*. (P. McIntyr, Ed.). Colombia: Cinara. Retrieved from [http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion 6 Tratamiento de agua/Filtración en multiples etapas IRC.pdf](http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion_6_Tratamiento_de_agua/Filtración_en_múltiples_etapas_IRC.pdf)
- Tehodore, B., Bursten, B. E., & LeMay, E. (2004). *Química la Ciencia Central* (Novena). México: Pearson Educación.
- Torres-Degró, A. (2011). *Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial* (1st ed., Vol. 2). Puerto Rico: Cinde Digital. Tomado de http://demografia.rcm.upr.edu/images/CIDEdigital/vo2no1/CIDEvo2no1-A_Torres-Degro-Tasa_crecimiento_poblacional.pdf
- Torres, A. (2010). *Pathogenic Escherichia Coli in Latin America*. Bentham Science Publishers.
- Ureña Vargas, L. V. (2016). “*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.*” Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. *Ambientales*, No. 45(1409–2158), 5–12.
- Vega, E., & Vega, M. (2004). *Administración del recurso hídrico para consumo humano en Costa Rica y su consecuencia en la mortalidad infantil post-neonatal*. Costa Rica. Tomado de [http://www.cieco.org/docs/Informe_Ad_Agua_4 Mauricio y Edwin.pdf](http://www.cieco.org/docs/Informe_Ad_Agua_4_Mauricio_y_Edwin.pdf)
- Vega Serrano, H. A. (2013). *Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas fime en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la hacienda Majavita (Socorro, Santander)*. Universidad de Mazinales.
- Xiquim S.A. (2009). Hoja de seguridad del ácido tricloisocianurico. Tomado de

http://www.asiquim.com/nwebq/download/HDS/Acido_Tricloroisocianurico.pdf

APÉNDICES

APÉNDICE 1: ENCUESTA APLICADA A LOS USUARIOS DE LA COMUNIDAD

Encuesta sobre el abastecimiento agua potable en la Comunidad de San Antonio de León Cortés.

Esta encuesta tiene como finalidad establecer la percepción de la comunidad sobre el abastecimiento de agua potable y el trabajo brindado por el acueducto, como parte de una investigación para optar por el grado de Licenciatura en la carrera de Ingeniería Ambiental.

*Obligatorio

Nombre del abonado *

Tu respuesta

Cantidad de personas en el hogar o personal que trabaja en el local. *

- 1-3 personas
- 4-5 personas
- Más de 6 personas

¿Ha notado algún sabor y olor extraño en el agua potable? *

- Sí
- No

¿ Tiene problemas con el servicio de agua potable por faltante de agua?

- Sí
- no

¿Ha notado que el agua llegue turbia ? *

- Si
- No

¿Con que frecuencia llega el agua turbia? *

- Invierno
- Verano
- Nunca
- No responde

¿Tiene medidor en su casa o establecimiento?

- Sí
- No

¿Conoce cuanto es el consumo de agua en su hogar?

Tu respuesta

¿ Conoce sobre el funcionamiento del medidor?

- Sí
- No

¿ Sabe usted cuál es la tarifa establecida por el Aresep para el acueducto? *

- Sí
- No

¿Cuántas llaves de agua tienen en su residencia o establecimiento?

Tu respuesta

¿Existen fugas de agua potable en su hogar? *

- Sí
- No

¿Conoce sobre la calidad de agua potable que llega a su residencia o negocio?

- Sí
- No

¿Utiliza agua de lluvia para ahorrar agua potable? *

- Sí
- No

¿Cuál es su percepción del trabajo realizado por los miembros de la Asada. *

- Malo
- Bueno
- Regular
- Excelente

¿Se le notifica cuando se va a suspender el servicio de agua potable? *

- Sí
- No

¿Conoce usted si el agua que llega a su hogar ha sido clorada? *

- Sí
- No

¿Cuál es su percepción sobre la cloración del agua? *

Tu respuesta

Algún comentario o sugerencia que desee realizar: *

Tu respuesta

Figura A.1. Encuesta aplicada a los usuarios de la comunidad del Acueducto San Antonio León Cortés


APÉNDICE 2: CUADALES DE LAS NACIENTES DEL ACUEDUCTO SAN ANTONIO LEÓN CORTÉS

Cuadro 2.1. Caudales de las nacientes del acueducto San Antonio de León Cortés desde septiembre 2013 hasta marzo 2017


Aforo de Nacientes Asada San Antonio de León Cortés				
<i>Caudal L/s</i>				
Fecha	Naciente los Mata	Naciente Gildo Mena	Naciente Los Gamboa I	Naciente Los Gamboa II
26/09/2013	0,40	1,40	0,60	12,00
26/10/2013	0,50	1,50	1,20	10,00
26/01/2014	0,02	1,16	0,50	5,00
26/02/2014	0,20	1,25	0,25	1,60
26/03/2014	0,50	1,00	1,00	2,25
26/04/2014	0,15	0,50	0,15	1,60
26/05/2014	0,30	0,50	0,50	1,60
26/06/2014	0,40	0,80	0,40	2,00
26/07/2014	0,33	0,33	0,60	7,00
26/08/2014	0,50	0,66	0,38	3,33
26/09/2014	1,25	2,50	1,75	12,00
26/10/2014	1,00	1,20	1,60	11,00
26/11/2014	0,40	1,20	0,80	10,00
26/12/2014	0,35	1,20	0,17	12,00
26/01/2015	0,50	1,00	0,65	6,00
26/03/2015	0,24	0,78	0,39	5,00
26/04/2015	0,23	1,00	0,40	2,00
26/05/2015	0,27	0,74	0,17	1,50
26/06/2015	0,24	0,80	0,25	2,00
26/07/2015	0,25	0,63	0,30	2,00
26/08/2015	0,28	0,60	0,30	5,00
26/09/2015	0,24	0,50	0,50	2,50
26/10/2015	0,21	3,00	1,00	8,00
26/11/2015	0,28	1,10	1,00	11,00
26/12/2015	0,52	1,00	1,00	10,00
26/01/2016	0,30	0,21	1,00	6,00
26/02/2016	0,25	0,48	0,30	5,00
26/03/2016	0,48	1,05	0,10	3,00
26/04/2016	0,73	0,60	0,12	2,00
26/05/2016	0,22	0,41	0,20	2,30
26/06/2016	0,36	0,60	0,40	3,00
26/07/2016	0,40	0,50	0,33	3,00
26/08/2016	0,23	0,62	0,60	5,00
26/09/2016	0,29	1,22	1,00	10,00
26/10/2016	0,80	1,80	1,50	12,00
26/11/2016	0,80	1,38	1,00	12,00
26/12/2016	0,40	1,38	0,60	12,00
26/01/2017	0,40	1,10	0,60	9,00
26/02/2017	0,22	0,85	0,37	10,00
26/03/2017	0,35	0,85	0,22	6,00

APÉNDICE 3: EVALUACIÓN SERSA DE LAS NACIENTES

Cuadro A.3.1. Evaluación SERSA Naciente Los Gamboa 2

FICHA DE CAMPO 2 <u>CAPTACIÓN DE NACIENTES O MANANTIALES</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre de Naciente o Manantial: <u>Naciente Los Gamboa 2</u> Número de registro en MINAET: _____ Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Captación: Caseta () A nivel (x) Enterrada () Semi-enterrada ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en la Naciente o Manantial	Si	No
1. ¿Está la naciente sin malla de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación?	x	
2. ¿Está la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tanque de captación).		x
3. ¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias y con cierre seguro (candado, tornillo u otro) ?		x
4. ¿Están las paredes y la losa superior de la captación con grietas?	x	
5. ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía?	x	
6. ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección?		x
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?		x
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de captación?		x
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura).		x
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?		x
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (Total de "Si")	3	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Intermedio	


Cuadro A.3.2. Evaluación SERSA Naciente Los Gamboa 1

FICHA DE CAMPO 2 <u>CAPTACIÓN DE NACIENTES O MANANTIALES</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: 01-setiembre-2016 Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre de Naciente o Manantial: <u>Naciente Los Gamboa 1</u> Número de registro en MINAET: _____ Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Captación: Caseta () A nivel () Enterrada () Semi-enterrada (x)</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en la Naciente o Manantial	Si	No
1. ¿Está la naciente sin malla de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación?	x	
2. ¿Está la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tanque de captación).		x
3. ¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias y con cierre seguro (candado, tornillo u otro) ?		x
4. ¿Están las paredes y la losa superior de la captación con grietas?		x
5. ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía?	x	
6. ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección?	x	
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?		x
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de captación?		x
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura).		x
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?		x
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (Total de "Si")	3	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Intermedio	

Cuadro A.3.3. Evaluación SERSA Naciente Los Mata


FICHA DE CAMPO 2 <u>CAPTACIÓN DE NACIENTES O MANANTIALES</u>		
I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre de Naciente o Manantial: <u>Naciente Los Mata</u> Número de registro en MINAET: _____ Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Captación: Caseta () A nivel () Enterrada () Semi-enterrada (x)		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en la Naciente o Manantial	Si	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	x
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?		x
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de captación?		x
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura).		x
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?	x	
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (Total de “Si”)	4	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Intermedio	

Cuadro A.3.4. Evaluación SERSA Naciente Gildo Mena


FICHA DE CAMPO 2 <u>CAPTACIÓN DE NACIENTES O MANANTIALES</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre de Naciente o Manantial: <u>Naciente Gildo Mena</u> Número de registro en MINAET: _____ Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Captación: Caseta () A nivel (x) Enterrada () Semi-enterrada ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en la Naciente o Manantial	Si	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	x
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?		x
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de captación?		x
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura).		x
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?		x
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (Total de "Si")	2	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Bajo	

APÉNDICE 4: EVALUACIÓN SERSA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO


Cuadro A.4.1. Evaluación SERSA Tanque Heiner

FICHA DE CAMPO 4 <u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: 01-setiembre-2016 Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Tanque Heiner Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel () Enterrado () Semi-enterrado (x) Material del tanque: Concreto (x) Metálico () Plástico () Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral () Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque		
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbadas (metálico)?	x	
2. ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias?		x
3. ¿Carece 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?		x
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque y las escaleras internas herrumbadas?		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 de cierre seguro (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 “Si”)	2	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		Bajo


Cuadro A.4.2. Evaluación SERSA Tanque Rolo

FICHA DE CAMPO 4			
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>			
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Tanque Rolo Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado () Material del tanque: Concreto () Metálico () Plástico (x) Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>			
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque		Si	No
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbadas (metálico)?		x	
2. ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias?			x
3. ¿Carece 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?			x
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque y las escaleras internas herrumbadas?			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 de cierre seguro (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 "Si")		2	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		Bajo	


Cuadro A.4.3. Evaluación SERSA Tanque Alicia

FICHA DE CAMPO 4		
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Tanque Alicia Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado () Material del tanque: Concreto (x) Metálico () Plástico () Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque		
	Si	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 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?		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 de cierre seguro (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 "Si")	4	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Intermedio	


Cuadro A.4.4. Evaluación SERSA Tanque William

FICHA DE CAMPO 4		
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Tanque William Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado () Material del tanque: Concreto () Metálico () Plástico (x) Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral () Mensual Otra () No sabe/Nunca (x)</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque	Si	No
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbadas (metálico)?		x
2. ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias?		x
3. ¿Carece 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?	x	
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque y las escaleras internas herrumbadas?		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 de cierre seguro (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 "Si")		6
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		Alto


Cuadro A.4.5. Evaluación SERSA Tanque Jubentino 1

FICHA DE CAMPO 4			
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>			
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: <u>Tanque Jubentino 1</u> Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado () Material del tanque: Concreto (x) Metálico () Plástico () Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>			
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque		Si	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 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?			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 de cierre seguro (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 "Si")			2
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10			Bajo


Cuadro A.4.6. Evaluación SERSA Tanque Jubentino 2

FICHA DE CAMPO 4 <u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Jubentino 2 Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel () Enterrado () Semi-enterrado (x) Material del tanque: Concreto (x) Metálico () Plástico () Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque	Si	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 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?		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 de cierre seguro (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 “Si”)		2
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		Bajo


Cuadro A.4.7. Evaluación SERSA Tanque Jubentino 3

FICHA DE CAMPO 4		
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: <u>01-setiembre-2016</u> Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Jubentino 3 Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado() Material del tanque: Concreto () Metálico () Plástico (x) Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque	Si	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 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?		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 de cierre seguro (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 "Si")		3
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Intermedio	

Cuadro A.4.8. Evaluación SERSA Tanque Próspero

FICHA DE CAMPO 4		
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>		
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: 01-setiembre-2016 Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Tanque Próspero Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano</u> (Presidente) Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado() Material del tanque: Concreto (x) Metálico () Plástico () Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>		
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque	Si	No
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbadas (metálico)?		x
2. ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias?		x
3. ¿Carece 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?		x
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque y las escaleras internas herrumbadas?		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 de cierre seguro (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 “Si”)	2	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Bajo	

Cuadro A.4.9. Evaluación SERSA Tanque Lelis

FICHA DE CAMPO 4			
<u>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</u>			
<p>I-) INFORMACION GENERAL Fecha: 01-setiembre-2016 Nombre Acueducto: <u>ASADA de San Antonio de León Cortés.</u> Nombre del Tanque: Tanque Lelis. Funcionario del Acueducto: <u>Carlos Luis Solano (Presidente)</u> Tipo Tanque: Elevado () A nivel (x) Enterrado () Semi-enterrado() Material del tanque: Concreto (x) Metálico () Plástico () Frecuencia de limpieza: Anual () Semestral () Trimestral (x) Mensual Otra () No sabe/Nunca ()</p>			
II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA: Identificación de Factores de Riesgo en el tanque		Si	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 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?			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 de cierre seguro (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 "Si")			3
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10		Intermedio	

APÉNDICE 5: RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL EN NACIENTES, TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y RED DE DISTRIBUCIÓN.

Cuadro A.5.1. Datos obtenidos en la medición de turbiedad de los puntos de control

ID	Lugar del muestreo	23/11/2016	12/12/2016	23/01/2017	14/02/2017	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
1	Tanque Lelis	0,40	1,07	0,48	0,60	0,64	0,40	1,07	0,29
2	Naciente Gildo Mena	0,70	0,84	0,95	0,64	0,78	0,64	0,95	0,13
3	Tanque Prospero	2,45	0,73	0,39	0,27	0,96	0,27	2,45	0,97
4	Tanque Heiner	1,23	1,10	0,17	1,11	0,90	0,17	1,23	0,47
5	Tanque Rolo	4,71	0,56	0,18	0,75	1,55	0,18	4,71	2,04
6	Jubentino 1	0,60	0,90	0,17	0,10	0,44	0,10	0,90	0,35
7	Jubentino 2	0,41	1,00	0,26	0,48	0,54	0,26	1,00	0,32
8	Jubentino 3	0,68	0,77	0,42	0,23	0,53	0,23	0,77	0,23
9	Naciente Los Gamboa 1	0,80	0,40	0,31	0,69	0,55	0,31	0,80	0,22
10	Naciente Los Gamboa 2	0,34	1,78	0,68	0,44	0,81	0,34	1,78	0,64
11	Filtro	5,33	2,01	0,59	0,46	2,10	0,46	5,33	2,17
12	Tanque Alicia	0,55	1,25	0,43	0,22	0,61	0,22	1,25	0,44
13	Naciente Los Mata		0,69	1,70	0,53	0,97	0,53	1,70	0,55
14	Centro de Nutrición	0,51	3,38	0,43	0,18	1,13	0,18	3,38	1,45
15	Escuela San Antonio L.C.	1,20	1,96	0,33	0,36	0,96	0,33	1,96	0,73
16	Punto Cercano	1,74	1,22	0,45	0,23	0,91	0,23	1,74	0,66
17	Punto Lejano	0,89	0,30	0,67	0,25	0,53	0,25	0,89	0,29
18	Tanque William		6,49	0,49	0,32	2,43	0,32	6,49	3,00
Cantidad de puntos que cumplen el Reglamento		15	17	18	18				

** Datos reportados en UNT.

Cuadro A.5.2. Datos obtenidos en el seguimiento de conductividad de los puntos de control

ID	Lugar del muestreo	12/10/2016	23/11/2016	12/12/2016	23/01/2017	14/02/2017	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
1	Tanque Lelis		6,41	6,80	5,39	4,94	5,89	4,94	6,80	0,87
2	Naciente Gildo Mena	19,97	23,41	17,13	22,17	18,85	20,31	17,13	23,41	2,52
3	Tanque Prospero		6,71	6,18	5,39	5,31	5,90	5,31	6,71	0,67
4	Tanque Heiner		8,57	8,12	6,74	5,79	7,31	5,79	8,57	1,28
5	Tanque Rolo		6,54	7,18	6,27	5,28	6,32	5,28	7,18	0,79
6	Jubentino 1		7,69	7,56	6,13	5,86	6,81	5,86	7,69	0,95
7	Jubentino 2		7,10	7,02	6,04	5,82	6,50	5,82	7,10	0,66
8	Jubentino 3		6,48	6,62	5,45	5,53	6,02	5,45	6,62	0,62
9	Naciente Los Gamboa 1	4,71	6,52	5,99	6,86	3,84	5,58	3,84	6,86	1,27
10	Naciente Los Gamboa 2	6,73	9,12	8,39	3,83	6,67	6,95	3,83	9,12	2,04
11	Filtro	7,36	8,69	8,22	6,13	7,64	7,61	6,13	8,69	0,97
12	Tanque Alicia		6,87	6,87	5,99	5,40	6,28	5,40	6,87	0,72
13	Naciente Los Mata	26,58		22,12	27,09	28,68	26,12	22,12	28,68	2,81
14	Centro de Nutrición		8,01	4,87	5,69	5,97	6,14	4,87	8,01	1,33
15	Escuela San Antonio L.C.		7,91	8,22	5,80	5,36	6,82	5,36	8,22	1,45
16	Punto cercano		8,45	7,90	6,48	5,64	7,12	5,64	8,45	1,29
17	Punto lejano		6,02	7,95	5,64	5,47	6,27	5,47	7,95	1,14
18	Tanque William			4,53	3,76	3,42	3,90	3,42	4,53	0,57
Cantidad de puntos que cumplen el Reglamento		5	16	18	18	18				

**Datos reportados en µS/cm.

Cuadro A.5.3. Datos de los análisis microbiológicos realizados en los puntos de control

ID Lugar/Parámetro	Año 2016					Año 2017				
	Octubre	Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		
	Coliformes Totales	Coliformes Fecales (MPN/ ml)	Ecoli (MPN/ ml)	Coliformes Fecales (MPN/ ml)	Ecoli (MPN/ ml)	Coliformes Fecales (MPN/ ml)	Ecoli (MPN/ ml)	Coliformes Fecales (MPN/ ml)	Ecoli (MPN/ ml)	
1 Tanque Lelis	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
2 Naciente Gildo Mena	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
3 Tanque Heiner	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
4 Tanque Rolo	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
5 Jubentino 1	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
6 Jubentino 2	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
7 Jubentino 3	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
8 Naciente Los Mata	<3,0			11	11	3,6	<3,0	<3,0		
9 Naciente Los Gamboa 1	<3,0			7,2	3	3,6	<3,0	<3,0		
10 Naciente Los Gamboa 2	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
11 Filtro	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
12 Punto cercano	<3,0			<3,0		7,3	<3,0	<3,0		
13 Centro de Nutrición	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
14 Tanque Prospero	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
15 Escuela San Antonio de León Cortés	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		
16 Punto lejano	<3,0			<3,0		3,6	<3,0	<3,0		
17 Tanque William	<3,0			3,6	<3,0	<3,0		<3,0		
18 Tanque Alicia	<3,0			<3,0		<3,0		<3,0		

Cuadro A.5.4. Resultados de la medición de cloro residual en tanques de almacenamiento y red de distribución

ID	Lugar/Fecha	12/10/2016	23/11/2016	12/12/2016	23/01/2017	14/02/2017	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
1	Tanque Lelis	0,07	0,23	0,04	0,30	0,06	0,14	0,04	0,30	0,12
2	Tanque Prospero	0,17	0,23	0,27	0,21	0,35	0,25	0,17	0,35	0,07
3	Tanque Heiner	1,05	0,36	0,24	0,36	0,40	0,48	0,24	1,05	0,32
4	Tanque Rolo	1,05	0,17	0,18	0,30	0,10	0,36	0,10	1,05	0,39
5	Jubentino 1		0,51	0,09	0,37	0,14	0,28	0,09	0,51	0,20
6	Jubentino 2		0,38	0,04	0,12	0,06	0,15	0,04	0,38	0,16
7	Jubentino 3	0,13	0,13	0,14	0,30	0,03	0,15	0,03	0,30	0,10
8	Tanque Alicia		0,29	0,13	0,41	0,20	0,26	0,13	0,41	0,12
9	Centro de Nutrición	0,17	0,11	0,19	0,05	0,07	0,12	0,05	0,19	0,06
10	Escuela San Antonio de León Cortés	0,09	0,26	0,12	0,24	0,06	0,15	0,06	0,26	0,09
11	Punto cercano	0,16	0,42	0,21	0,38	0,22	0,28	0,16	0,42	0,11
12	Punto lejano	0,08	0,10	0,16	0,28	0,15	0,15	0,08	0,28	0,08
Valor mínimo		0,07	0,10	0,04	0,05	0,03				
Valor máximo		1,05	0,51	0,27	0,41	0,40				
Cantidad de puntos que cumplen con el reglamento		0	6	1	8	2				
Cantidad de puntos con valor de alerta según el reglamento		2	0	0	0	0				
Cantidad de puntos que NO cumplen con el reglamento		10	6	11	4	10				

**Datos reportados en ppm

Cuadro A.5.5. Datos obtenidos del potencial de hidrógeno para los puntos de control monitoreados

ID	Lugar del muestreo	12/10/2016	23/11/2016	12/12/2016	23/01/2017	14/02/2017	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
1	Tanque Leís	4,94	5,00	5,42	5,21	6,95	5,50	4,94	6,95	0,83
2	Naciente Gildo Mena	4,36	3,94	4,37	4,37	4,32	4,27	3,94	4,37	0,19
3	Tanque Prospero	5,00	5,21	5,68	4,71	4,46	5,01	4,46	5,68	0,47
4	Tanque Heiner	4,65	4,57	4,76	4,57	3,96	4,50	3,96	4,76	0,31
5	Tanque Rolo	4,88	4,73	4,95	4,81	4,33	4,74	4,33	4,95	0,24
6	Jubentino 1		5,59	4,86	4,77	5,88	5,28	4,77	5,88	0,55
7	Jubentino 2		4,75	4,88	4,90	4,87	4,85	4,75	4,90	0,07
8	Jubentino 3	4,90	5,18	5,14	4,86	5,54	5,12	4,86	5,54	0,27
9	Naciente Los Gamboa 1	4,85	4,58	4,68	4,36	5,22	4,74	4,36	5,22	0,32
10	Naciente Los Gamboa 2	4,69	4,51	5,01	4,52	4,95	4,74	4,51	5,01	0,23
11	Filtro	4,53	4,66	4,65	4,39	4,48	4,54	4,39	4,66	0,11
12	Tanque Alicia		4,83	4,81	4,62	4,70	4,74	4,62	4,83	0,10
13	Naciente Los Mata	5,55		5,48	5,39	7,09	5,88	5,39	7,09	0,81
14	Centro de Nutrición	5,07	5,05	5,29	4,83	4,42	4,93	4,42	5,29	0,33
15	Escuela San Antonio L.C.	4,80	5,00	5,05	4,79	4,20	4,77	4,20	5,05	0,34
16	Punto cercano	4,92	5,18	4,60	4,55	4,49	4,75	4,49	5,18	0,29
17	Punto lejano	5,13	5,19	6,10	4,79	6,61	5,56	4,79	6,61	0,76
18	Tanque William			5,27	5,29	7,20	5,92	5,27	7,20	1,11
Cantidad de puntos que cumplen el Reglamento		0	0	1	0	4				

Cuadro A.5.6. Datos obtenidos para la Temperatura (°C) en los puntos monitoreados

ID	Lugar del muestreo	12/10/2016	23/11/2016	12/12/2016	23/01/2017	14/02/2017	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
1	Tanque Leís	18,0	17,0	19,4	19,4	17,8	18,3	17,0	19,4	1,1
2	Naciente Gildo Mena	18,0	18,0	17,9	17,4	17,4	17,7	17,4	18,0	0,3
3	Tanque Prospero	18,8	17,5	19,0	17,6	17,4	18,1	17,4	19,0	0,8
4	Tanque Heiner	17,7	17,0	17,1	16,1	16,4	16,9	16,1	17,7	0,6
5	Tanque Rolo	18,0	17,0	17,4	16,3	16,8	17,1	16,3	18,0	0,6
6	Jubentino 1		17,0	17,4	16,0	16,8	16,8	16,0	17,4	0,6
7	Jubentino 2		17,1	17,4	15,3	16,8	16,7	15,3	17,4	0,9
8	Jubentino 3	18,1	17,1	17,5	17,1	17,4	17,4	17,1	18,1	0,4
9	Naciente Los Gamboa 1	17,0	16,4	17,0	16,5	15,8	16,5	15,8	17,0	0,5
10	Naciente Los Gamboa 2	17,4	16,0	17,2	14,9	16,4	16,4	14,9	17,4	1,0
11	Filtro	17,6	16,8	16,9	16,4	16,4	16,8	16,4	17,6	0,5
12	Tanque Alicia		18,0	18,0	18,0	18,6	18,2	18,0	18,6	0,3
13	Naciente Los Mata	17,3		17,1	15,6	16,4	16,6	15,6	17,3	0,8
14	Centro de Nutrición	20,0	17,0	17,6	15,9	17,6	17,6	15,9	20,0	1,5
15	Escuela San Antonio L.C.	19,0	18,0	18,6	18,6	17,2	18,3	17,2	19,0	0,7
16	Punto cercano	20,0	17,5	17,9	16,9	19,8	18,4	16,9	20,0	1,4
17	Punto lejano	20,0	17,5	18,3	17,2	17,6	18,1	17,2	20,0	1,1
18	Tanque William			21,0	15,1	19,6	18,6	15,1	21,0	3,1
Cantidad de puntos que cumplen el Reglamento		11	6	10	4	6				

APÉNDICE 6: AFORO VOLUMETRICO EN EL TANQUE HEINER.

Cuadro A.6.1. Datos de aforo del caudal de entrada en el Tanque Heiner

	Hora	Altura (cm)	Volumen (m3)	Tiempo (mim)	Caudal (m3/mim)	Caudal (L/s)
Primera medición	0,32	2,00	0,50	5,00	0,10	1,66
	0,33	4,00	1,00	10,00	0,10	1,66
	0,37	5,00	1,25	15,00	0,08	1,38
	0,33	6,50	1,62	20,00	0,08	1,35
	0,35	8,50	2,12	30,00	0,07	1,18
Promedio primera medición					0,09	1,45
Segunda medición	0,39	2,00	0,50	5,00	0,10	1,66
	0,39	4,00	1,00	10,00	0,10	1,66
	0,40	4,50	1,12	15,00	0,07	1,25
	0,40	5,50	1,37	20,00	0,07	1,14
	0,41	8,00	1,99	30,00	0,07	1,11
Promedio segunda medición					0,08	1,36
Tercera medición	0,47	3,00	0,75	5,00	0,15	2,49
	0,48	5,00	1,25	10,00	0,12	2,08
	0,48	6,50	1,62	15,00	0,11	1,80
	0,48	8,00	1,99	20,00	0,10	1,66
	0,49	10,50	2,61	30,00	0,09	1,45
Promedio tercera medición					0,11	1,90

**Largo interno=5.56 m.

**Ancho interno=4,40 m.



Tanque Heiner y caseta de cloración



Ingreso del caudal de cloración al Tanque.



Boya de cierre del caudal de entrada al Tanque.



Salidas del tanque (para el aforo se cerró todas las salidas).



Instrumento de medición utilizado para realizar el aforo (al cerrar todas las válvulas de salida se inició el conteo para el aforo y determinar que altura incrementaba el nivel de agua en diversos lapsos de tiempo).



Aumento del nivel de agua.

Figura A.6.1. Componentes y aforo en el Tanque Heiner

APÉNDICE 7: RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA FUTURA DEL RECURSO HÍDRICO

En este apéndice se detallan los datos obtenidos de la demanda futura del recurso hídrico con los datos de la población proyectada bajo los modelos matemáticos aritmético, geométrico, exponencial y el promedio entre los tres modelos, estos cálculos se realizaron con una dotación neta de 125 L/hab*día, una dotación bruta de 150 L/hab*día con un porcentaje de pérdidas del 17% y caudal promedio total de 8,15 L/s (véase el Cuadro 15).

Cuadro A.7.1. Datos de caudal medio diario, máximo diario y máximo horario con la población obtenida del modelo aritmético

Caudal promedio de las fuentes(L/s)	Año	Población	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
8,151	2017	1205	2,10	2,52	4,54
8,151	2022	1288	2,25	2,69	4,85
8,151	2027	1371	2,39	2,87	5,16
8,151	2032	1454	2,53	3,04	5,47
8,151	2037	1537	2,68	3,21	5,79
8,151	2042	1620	2,82	3,39	6,10

Cuadro A.7.2. Datos de caudal medio diario, máximo diario y máximo horario con la población obtenida del modelo geométrico y exponencial

Caudal promedio de las fuentes(L/s)	Año	Población	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
8,151	2017	1220	2,13	2,55	4,59
8,151	2022	1324	2,31	2,77	4,98
8,151	2027	1437	2,50	3,01	5,41
8,151	2032	1559	2,72	3,26	5,87
8,151	2037	1691	2,95	3,54	6,37
8,151	2042	1835	3,20	3,84	6,91

Cuadro A.7.3. Datos de caudal medio diario, máximo diario y máximo horario con la población obtenida del promedio del modelo aritmético, geométrico y exponencial

Caudal promedio de las fuentes(L/s)	Año	Población	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
8,151	2017	1215	2,12	2,54	4,57
8,151	2022	1312	2,29	2,74	4,94
8,151	2027	1415	2,47	2,96	5,33
8,151	2032	1524	2,66	3,19	5,74
8,15	2037	1640	2,86	3,43	6,17
8,151	2042	1763	3,07	3,69	6,64

APÉNDICE 8: MANUAL DE OPERACIÓN PARA EL ACUEDUCTO SAN ANTONIO LEÓN CORTÉS

1. Objetivo

Generar una herramienta de trabajo para el Acueducto San Antonio de León Cortés mediante un manual de operación en el cual se establecen los protocolos que la ASADA debe de realizar con los diferentes componentes del acueducto (captaciones, redes de conducción, quiebra-gradientes, tanques de almacenamiento, sistemas de cloración, redes de distribución y micro-medición) para contribuir y facilitar al trabajo realizado por el personal operativo y administrativo de la Junta administradora de la ASADA.

2. Alcance

El alcance de este manual de operación es para el personal operativo y administrativo de la Junta administrativa de la ASADA de San Antonio de León Cortés. Este manual no debe de ser transferido a otras ASADAS.

3. Glosario

Este glosario fue extraído del “Reglamento para la Calidad del Agua Potable” del año 2015

Agua potable: Agua tratada que cumple con las disposiciones de valores máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud.

Agua tratada: Agua subterránea o superficial cuya calidad ha sido modificada por medio de procesos de tratamiento, que incluyen como mínimo a la desinfección en el caso de aguas de origen subterráneo.

Control Operativo: Se refiere al control que lleva a cabo el ente operador, con la finalidad de monitorear permanente y sistemáticamente la calidad del abastecimiento de agua, a fin de tomar acciones correctivas inmediatas en la operación del acueducto, si lo amerita.

Desinfección del agua: Proceso fisicoquímico unitario cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano. El proceso químico de la desinfección no corresponde a una esterilización.

Fuente de abastecimiento: Espacio natural desde el cual se derivan los caudales demandados por la población a ser abastecida, deben ser básicamente permanentes y suficientes. Pueden ser superficiales (ríos, lagos, canales, mares) y subterráneas (manantiales, nacientes, pozos); suministrando el agua por gravedad o por bombeo.

Plan de Seguridad del Agua (PSA): Según lo describe las guías vigentes de la OMS, el PSA es un plan (o varios planes) documentados, que identifican posibles riesgos desde el área de influencia de la captación hasta el consumidor, los precisa, prioriza e implementa medidas de control para su mitigación; así como los riesgos de la gestión de la provisión del servicio.

Valor Alerta (VA): Corresponde aquella concentración de sustancias químicas que implica un riesgo mínimo o aceptable para la salud de los consumidores y que es utilizado por el ente operador y por el Ministerio de Salud antes de que exceda el Valor Máximo Admisible.

Valor Máximo Admisible (VMA): Concentración de sustancia o densidad de bacterias, a partir de la cual existe rechazo del agua por parte de los consumidores.

Otros conceptos importantes sobre los parámetros de control monitoreados en un Acueducto son:

Potencial de hidrógeno (pH)

Turbiedad

Color

Conductividad Temperatura

Coliformes fecales

Coli

Para más información sobre estos parámetros refiérase al Apartado 2.5 Principales indicadores fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

4. Descripción del Acueducto

La descripción del lugar de estudio y de la ASADA así como los mapas con la georreferenciación de los principales componentes hidráulicos, se detallan en los apartados 3.1 Lugar de estudio y 3.2 ASADA San Antonio L.C. del presente documento.

5. Control operacional y procedimientos

En este apartado se detalla la frecuencia y cantidad de muestra requeridas por cada nivel indicado en el “*Reglamento para la calidad de agua potable del año 2015*” (La Gaceta No.170, 2015); así mismo se indican los procedimientos para la medición de los diferentes parámetros de control.

5.1. Niveles de control de calidad del agua, frecuencia de muestreo y cantidad de muestras.

Según lo que establece el “*Reglamento para la calidad de agua potable del año 2015*” (La Gaceta No.170, 2015) los niveles de control de agua son el control operativo (CO) y cuatro niveles de control de calidad (N1,N2,N3,N4). En el Cuadro A.8.1 se resumen los parámetros que se deben de realizar para cada nivel.

Cuadro A.8.1. Niveles de control y parámetros establecidos. Tomado de (La Gaceta No.170, 2015)

Parámetros por incluir	Control Operativo (CO)	Nivel Primero (N1)	Nivel Segundo (N2)	Nivel tercero (N3)	
A. Fisicoquímicos	Turbiedad	Color aparente	Aluminio	Amonio	
	Olor (a)	Turbiedad	Calcio	Antimonio	
	Sabor (a)	Olor (a)	Cloruro	Arsénico	
	Cloro residual libre	Sabor (a)	Cobre	Cadmio	
	pH		Temperatura (b)	Dureza Total	Cianuro
			pH	Fluoruro	Cromo Mercurio
			Conductividad	Hierro	Níquel
			Cloro residual libre	Magnesio	Nitrito
			Cloro residual libre	Manganeso	Selenio
			Cloro residual combinado	Nitrato	
				Plomo	
				Potasio	
				Sodio (Na ⁺)	
			Sulfato (SO ₄ ⁻²)		
	inc (Zn)				
B. Microbiológicos		Coliforme fecal E. Coli			

Notas.

(a) Valoración cualitativa.

(b) Excepto para agua en depósitos cerrados.

La frecuencia de muestreos para el CO de una ASADA pequeña como es el caso San Antonio de León Cortés con una cantidad de 212 abonados y una población total de 1106 para el año 2011 según (INEC, 2017) se debe realizar con una frecuencia **mensual** y la cantidad de muestras que se deben de tomar es una por cada naciente. Los parámetros del nivel 1 se deben realizar semestralmente (1 muestra por tanque, 1 muestra por cada naciente y 3 muestras en la red de distribución) y los niveles de N2 y N3 se deben de realizar cada tres años (La Gaceta No.170, 2015). En la Figura 59 se detalla de forma concisa la frecuencia y cantidad de muestras necesarias en cada etapa de monitoreo de la calidad del recurso hídrico.

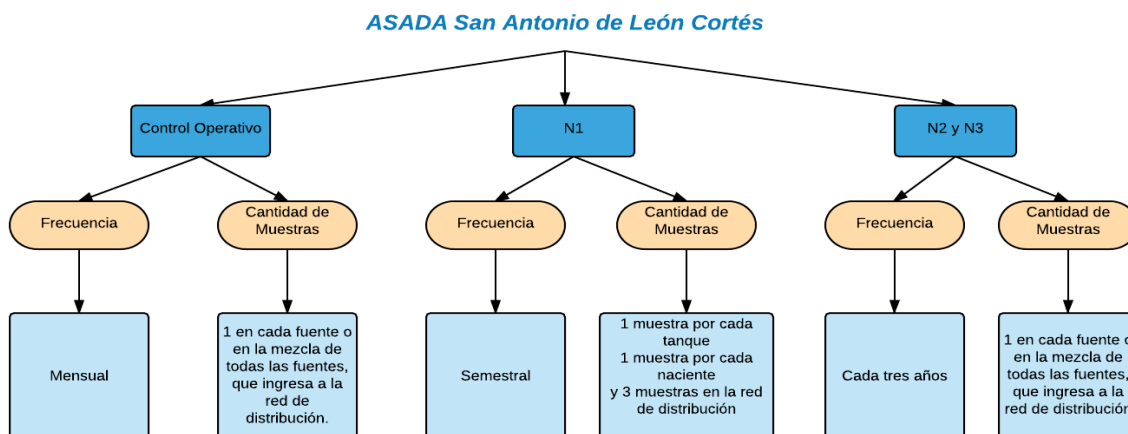


Figura 59. Frecuencia y cantidad de muestras para el control operativo, N1, N2 y N3 para el acueducto. Tomado de (La Gaceta No.170, 2015).

5.2. Medición de cloro residual y caudal de cloración en el Tanque de Heiner.

En este apartado se detalla el procedimiento para determinar el cloro residual libre en diferentes componentes del acueducto (tanques y redes de distribución)

Paso 1. Medición del cloro residual.

Para determinar la concentración de cloro residual libre en tanques de almacenamiento y red de distribución y domiciliarias, se debe hacer uso de un medidor de cloro, un recipiente de medición y el reactivo DPD como se muestra en la Figura 60.



Figura 60. Instrumentos requeridos para medir el cloro residual: medidor de cloro, recipiente de medición y reactivo de DPD (de izquierda a derecha)

1. Lave el recipiente de medición con agua destilada
2. Tome una muestra 10 mL de agua con una geringa y coloquela en el recipiente de medición
3. Tape el recipiente y coloquelo dentro del medidor de cloro
4. Encienda el medidor de cloro en el botón central hasta que en la pantalla indique C1
5. Oprima nuevamente el botón central comenzará a parpadear la pantalla espere hasta que le indique en la pantalla C2.
6. Cuando indique C2 en la pantalla proceda a extraer el recipiente y coloquelo el reactivo de DPD en el recipiente.
7. Tape el recipiente y agite para disolver el reactivo (se tornará de un color rojizo)
8. Coloque nuevamente el recipiente en el medidor de cloro
9. Presione nuevamente en botón central (comenzará a parpadear)
10. Finalmente lea y anote el dato obtenido en la bitácora de trabajo

Figura 61. Procedimiento para determinar el cloro residual en muestras de agua potable.

El Figura 61 se detalla el procedimiento necesario para determinar el cloro residual libre, en la Figura 62 se ilustran un serie de fotografías ejemplificando el procedimiento descrito de la Figura 61, dicha medición debe ser registrada en una bitácora como se detalla en el Anexo5 Cuadro A.5.1. Si el equipo indica 2,50 ppm es posible que la concentración sea mayor, debido a que el rango de detección del equipo es de 0,02- 2,50 ppm, por lo que se debe proceder a realizar el **Paso 2**.



Figura 62. Medición de cloro residual libre realizada en tanques de almacenamiento y red de distribución

Paso 2. Realizar una disolución

Como en el **Paso 1** el equipo no midió correctamente el cloro residual libre se debe proceder a realizar una disolución para que el equipo si pueda medir y reportar un dato confiable; es decir; una concentración más baja. Primeramente, se debe calcular el volumen de la muestra concentrada que se debe tomar para preparar la disolución que contenga una concentración menor. Para ello se debe aplicar la Ecuación 7.

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1} \text{ Ecuación 7}$$

Dónde:

C₁: concentración que se asume que está saliendo en el caudal de cloración (usar valores de 2,50- 7,00 ppm).

V₁: volumen que se debe extraer de la disolución concentrada.

V₂: volumen total que se va a preparar de disolución (100 mL).

C₂: concentración de cloro residual que deseo obtener en la disolución de 100 mL el equipo sea capaz de medir (< 2,50 ppm).

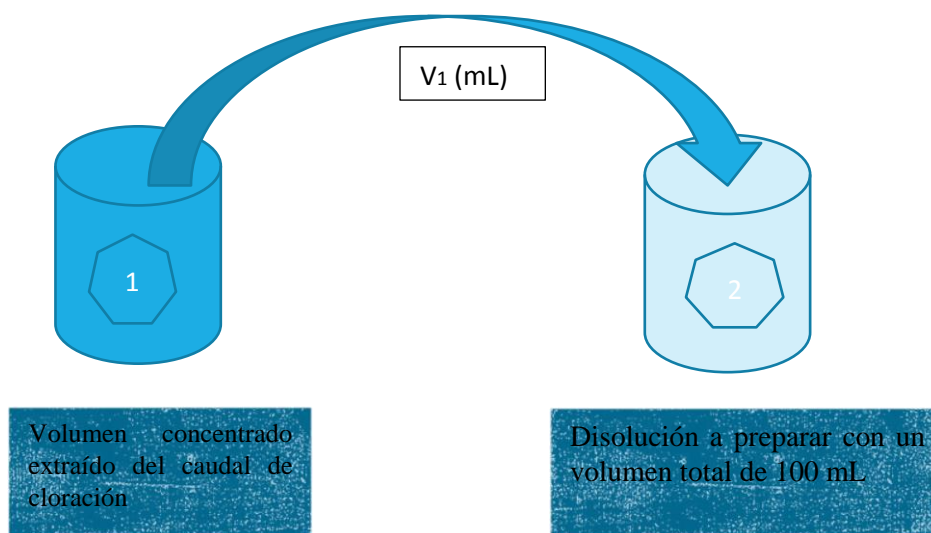


Figura 63. Ilustración de la preparación de una disolución a partir de una muy concentrada

Es decir, si en la Ecuación 7 nos da un resultado de 10 mL (dato de ejemplo) quiere decir que se debe transferir 10 mL del recipiente **uno** al recipiente **dos** (véase la Figura 63) y por ende para obtener 100 mL de disolución se debe colocar 90 mL de agua destilada en el recipiente dos. Una vez hecho esto se debe realizar el **PASO 1**.

Una vez realizado en Paso 1 nuevamente se obtiene la concentración de cloro residual en el recipiente 2; es decir, en el recipiente dos menos concentrado. Finalmente se debe calcular la

concentración de cloro residual en la salida de cloración; es decir, en el recipiente uno, para ello se debe de proceder a realizar el **Paso 3**.

Paso 3. Calcular el cloro residual real en la salida de cloración

Para calcular la concentración de cloro residual que posee la muestra original antes de la disolución se debe proceder a emplear la Ecuación 8 de la siguiente manera:

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

C₁= concentración real de cloro residual en la salida de cloración (dato que se desea conocer).

V₁= volumen extraído de la disolución concentrada.

V₂= volumen total preparado de disolución (100 mL).

C₂= dato obtenido de cloro residual en el paso 2.

Por lo tanto, si el paso 2 se obtuvo un valor de 0,90 mg/L (dato de ejemplo) se debe sustituir ese dato en la Ecuación 8 de la siguiente manera:

$$C_1 = \frac{0,90 * 100}{10} = 9mg/L$$

Es decir, finalmente se conoce la concentración real de cloro residual aplicada en el sitio de interés.

Medición de la solución de cloración:

Para la medición del caudal de la solución de cloración se debe realizar 5 mediciones utilizando un recipiente calibrado y un cronometro, para ello se debe realizar una tabla que contenga los siguientes datos (véase el Cuadro A.8.2) a manera de ejemplo.

Cuadro A.8.2. Caudal de la solución de cloración aplicado al Tanque de Heiner

Hora	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)
08:10:00 a.m.	840	10	84	0,08
08:20:00 a.m.	650	5	130	0,13
08:30:00 a.m.	475	5	95	0,10
08:40:00 a.m.	700	5	140	0,14
08:50:00 a.m.	300	5	60	0,10
Promedio				0,10

En el Cuadro A.8.2 de manera ilustrativa se muestra un ejemplo de una adecuada medición del caudal de la solución de cloración; es decir, con un recipiente que contenga una escala de medida en mL se coloca en el caudal de cloración durante 5 segundos se realiza la medición del volumen recolectado en ese tiempo, se realiza este procedimiento por quintuplicado y

finalmente se saca el promedio del caudal de cloración aplicado al tanque principal, este dato debe ser registrado (véase el Anexo 5).

5.3. Medición de pH

La definición del pH fue descrita en el apartado del glosario de este manual (refiérase a este apartado en caso de dudas). El pH fue debe ser medido en *insitu* por triplicado *con* ayuda de pH metro de campo (véase la Figura 65). En la Figura 64 se muestra el procedimiento para determinar el pH del agua en tanques de almacenamiento, nacientes y red de distribución, finalmente el dato obtenido debe ser anotado como se ilustra en el Anexo 7.

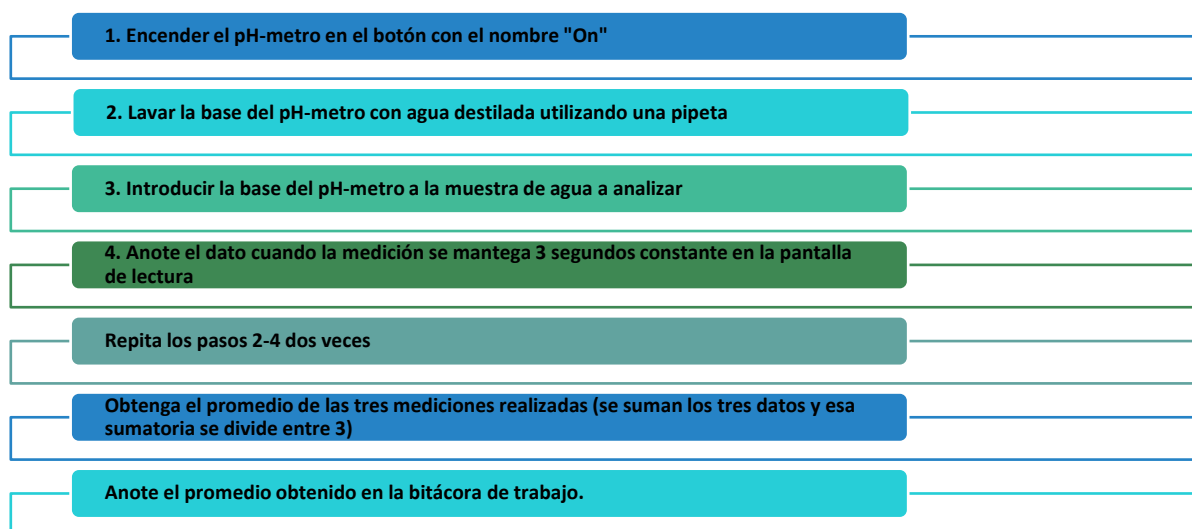


Figura 64. Procedimiento para determinar el parámetro operacional de pH



Figura 65. Medición del parámetro de pH

La calibración de un pH-metro de campo se debe realizar al menos una vez al mes, antes de realizar el seguimiento operacional mensual con disolución acida, neutra y básica según sea requerido por el equipo.

5.4. Medición de Turbiedad

La medición de la turbiedad se debe realizar mensualmente en cada una de las fuentes de agua con las que cuenta el acueducto, este parámetro es parte del control operativo el cual debe ser realizado por el personal operativo de la ASADA. En la Figura 66 se muestra el procedimiento para realizar la medición de turbiedad en cada una de las fuentes y el la Figura 67 se ilustra un ejemplo de tipo un turbidímetro.

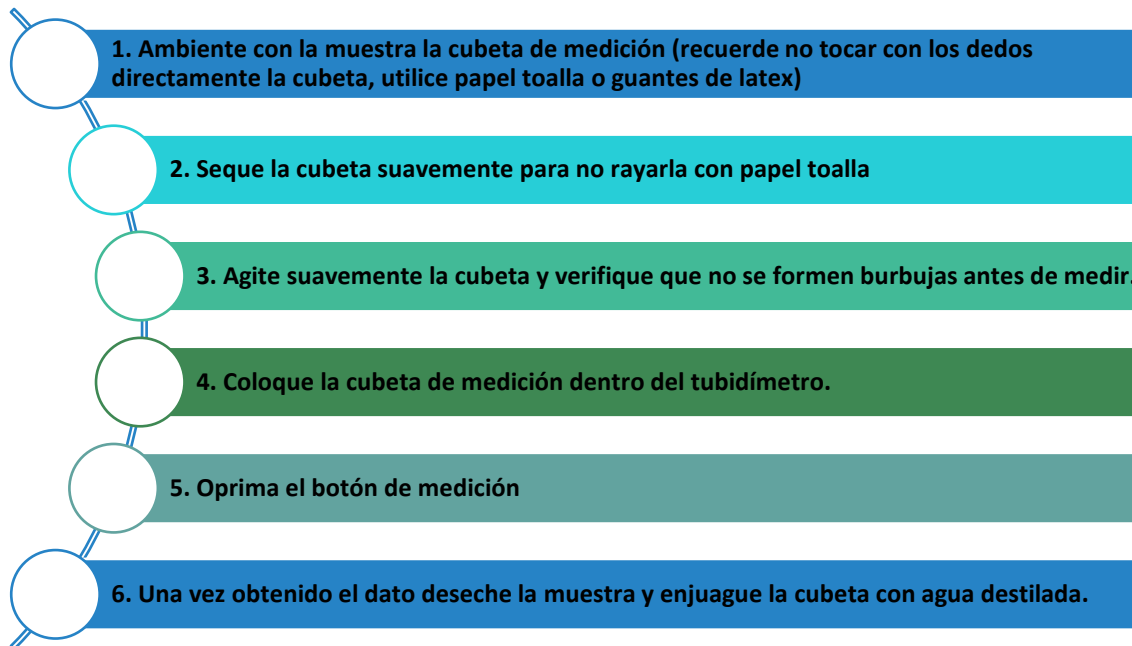


Figura 66. Procedimiento para determinar la turbiedad en muestras de agua potable



Figura 67. Turbidímetro portátil marca Orbeco-Hellige modelo TB200

Para realizar este parámetro se cotizó un turbidímetro para que el acueducto pueda valorar la adquisición del mismo, dicha cotización se puede consultar en el Anexo 10.

5.5. Medición de temperatura

La medición de temperatura **no** es parte del control operacional sugerido por el “Reglamento para la calidad de agua potable”; no obstante, este parámetro se recomienda en los tanques de almacenamiento y las nacientes.

La medición de la temperatura puede ser realizada con un termómetro de infrarrojo y debe ser realizada *insitu* (véase la Figura 68), se debe tomar el dato con una distancia entre la línea

de agua y el equipo no mayor a 15 cm para disminuir el error en la medición, o bien se puede tomar el dato de temperatura dado por el pH-metro para disminuir los gastos por la adquisición de un termómetro infrarrojo.

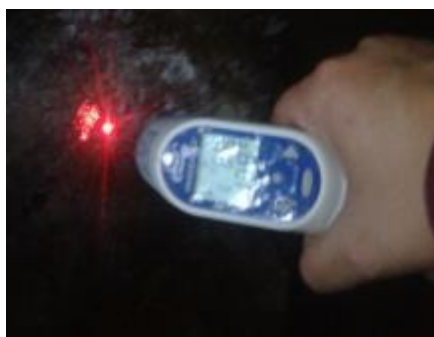


Figura 68. Medición de la temperatura con termómetro infrarrojo

5.6. Aforo en las Nacientes

El aforo de las nacientes de abastecimiento de agua potable se debe realizar mensualmente llevando un registro de los datos obtenidos, con la finalidad de determinar las variaciones en la oferta del recurso hídrico de cada una de las nacientes, se debe realizar una medición por quintuplicado para disminuir el margen de error al realizar una única medición (véase el Anexo 2). En la Figura 69 se ilustra de forma sencilla como se debe colocar el recipiente de aforo en cada una de las nacientes.

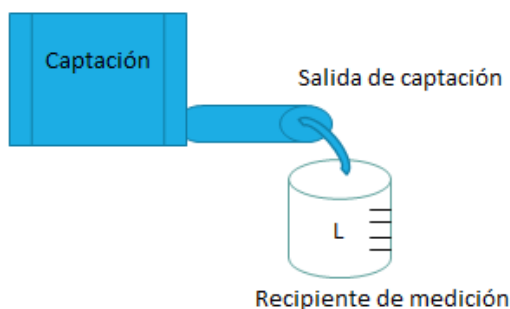


Figura 69. Ilustración gráfica de la adecuada colocación del recipiente de medición para el aforo.

5.7. Valores de alerta

Los valores de alerta para las mediciones de los parámetros del CO por el personal operativo de la ASADA en las nacientes, tanques de almacenamiento y red de distribución se detallan en el Cuadro A.8.3.

Cuadro A.8.3. Datos de valores de alerta para el control operativo. Tomado de (La Gaceta No.170, 2015)

Parámetros	Valor de alerta (VA)	Valor máximo admisible (VMA)
Turbiedad	<1	5
Olor	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
pH	6,00	8,00
Cloro Residual Libre	0,30	0,60

5.8. Normas de seguridad en la cloración

Al realizar la colocación de las pastillas de cloro dentro del clorador o realizar alguna limpieza del mismo, procure siempre utilizar el equipo básico de protección como los son: guantes, gafas y mascarilla se seguridad (véase la Figura 70). También debe utilizarse este equipo de seguridad cuando se realicen lavados a los tanques de almacenamiento.



Figura 70. Equipo básico de seguridad para la colocación de pastillas de cloro

El almacenamiento de las pastillas de ácido tricloroisocianurico debe ser un lugar con buena ventilación. Nunca debe abrir el recipiente que contiene las pastillas en lugar cerrado y sin el equipo de seguridad.



Figura 71. NFPA del ácido tricloroisocianurico

En la Figura 71 se ilustra el rombo de seguridad que debe de ser colocado en el sitio cercano al almacenamiento de las pastillas de ácido tricloroisocianurico. La forma de interpretar la Figura 71 se detalla en la Figura 72 donde el color azul representa un riesgo para la salud humana, el color rojo indica si el producto químico es inflame, el color blanco dentro del rombo indica si el compuesto químico tiene algún riesgo específico como por ejemplo riesgo

biológico, radiactivo, y el color amarillo indica si el compuesto utilizado presenta características de reactividad; es decir, indica si el producto puede explotar ante diferentes ambientes.



Figura 72. Rombo NFPA para productos químicos

5.8.1. Medidas de primeros auxilios

Si alguna persona se ve afectada por el contacto accidental con las pastillas de ácido tricloroisocianurico siga las siguientes instrucciones:

Inhalación



Dirija a la persona afectada a un lugar ventilado para que pueda respirar. Si persisten los síntomas consulte a un médico.

Contacto con la piel



Lave de inmediato la zona afectada con abundante cantidad de agua. Si el área afectada persiste con enrojecimiento consulte a un médico.

Contacto con los ojos



Lave sus ojos con abundante agua. Consulte a la brevedad a un médico

Ingestión



Dé a tomar de 2 a 4 vasos de leche. **No inducir al vomito.** Consulte inmediatamente un médico.

Nota: la inhalación de vapores de cloro puede provocar edema pulmonar, Favor recuerde usar su equipo de protección cuide su salud.







5.9. Operación y mantenimiento de las instalaciones hidráulicas del acueducto

En este apartado se describe las actividades de operación y mantenimiento de los principales componentes hidráulicos del acueducto, que permita guiar al personal de la junta administrativa y el equipo de fontanería.

5.9.1. Operación y mantenimiento de las captaciones de agua

La captación es una estructura cerrada, usualmente tienen una tapa sanitaria, con tuberías de rebalse y de conducción con su respectiva válvula hacia la distribución o almacenamiento del recurso hídrico (I.N.A.A, 2000).





Cuadro A.8.4. Operación y mantenimiento de las captaciones del acueducto. Tomado de (AYA, 2009)

Imagen	Actividad	Frecuencia	Herramientas
	1. Aforo volumétrico en la captación (véase el Anexo 6)	Mensual	Bitácora de trabajo, cronómetro, recipiente calibrado, lapicero.
	2. Realizar una limpieza de maleza de los alrededores al sitio de captación como hojas y vegetación	Semestral	Pala, herramienta de fontanería
	3. Realizar una limpieza interna de la captación eliminando raíces sedimentos o suciedad dentro de la captación.	Trimestral	Herramientas de fontanería, balde
	4. Verificar el estado de la tapa sanitaria de la captación de agua.	Mensual	No aplica
	5. Mantenimiento de los canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía.	Semestral	Pala, herramienta de fontanería
	6. Registrar en la bitácora de trabajo las actividades de limpieza y mantenimiento indicando fecha, hora, lugar, actividad realizada, responsable, observaciones y firma	Inmediata al mantenimiento	Bitácora de trabajo y lapicero

5.9.2. Operación y mantenimiento de la línea de conducción de agua

La línea de conducción es una línea de tubería que transporta el agua desde el sitio de captación hasta el tanque de almacenamiento. Generalmente el material utilizado es PVC.






Cuadro A.8.4. Operación y mantenimiento de la línea de conducción. Tomado de (AYA, 2009)

Imagen	Actividad	Frecuencia	Herramientas
	1. Realizar una inspección y mantenimiento general a la línea de conducción del recurso hídrico (Nota: En caso de inspeccionar la línea de conducción en bosque primario procure siempre contar con un acompañante, por el riesgo que implica caminar en el boque primario)	Anual	Pala y cuchillo
	2. Realizar mantenimiento de la servidumbre de paso de la conducción	Trimestral	Pala y cuchillo
	3. Reposición de válvulas y tuberías dañadas	Inmediata al daño	Herramientas de fontanería
	4. Registrar observaciones, actividades de mantenimiento, daños, anomalías o buen estado de la línea de conducción evaluada en la bitácora de trabajo indicando la fecha, hora, lugar, actividad realizada, responsable, observaciones y firma.	Trimestral	Bitácora de trabajo y lapicero

5.9.3. Operación y mantenimiento de la estación de cloración de agua

El sistema de cloración con pastillas permite la entrada de un flujo de agua que humedece las pastillas de cloro generando una dilución de las mismas, la solución de cloro permite eliminar microorganismos patógenos que pueden probar afectaciones en la salud humana (AYA, 2009)




Cuadro A.8.5. Operación y mantenimiento de la estación de cloración. Tomado de (AYA, 2009)

Imagen	Actividad	Frecuencia	Herramientas
	1. Mantenimiento preventivo y limpieza del clorador (véase el Anexo 5)	Mensual	Herramientas de fontanería
	2. Aforo del caudal de solución de cloro	Mensual	Bitácora de trabajo, cronómetro, recipiente calibrado, lapicero.
	3. Colocación de las pastillas de cloro dentro del clorador	Semanal	Guantes, gafas de seguridad y mascarilla (véase la Figura 70)
	4. Registrar el caudal de solución de cloro obtenidas como se detalla en el Anexo 5.		Bitácora de trabajo y lapicero
	5. Registrar las actividades de limpieza y mantenimiento realizadas en la bitácora de trabajo indicando la fecha, hora, lugar, actividad realizada, responsable, observaciones y firma		Bitácora de trabajo y lapicero

5.9.4. Operación y mantenimiento del tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento y de distribución de agua son estructuras hidráulicas diseñadas para garantizar el abastecimiento a la población, pueden ser construidos de cemento y plástico principalmente.

Cuadro A.8.6. Operación y mantenimiento para tanques de almacenamiento. Tomado de (AYA, 2009)

Imagen	Actividad	Frecuencia	Herramientas
	1. Limpieza del exterior tanque de almacenamiento	Trimestral	Pala y cuchillo
	2. Lavado del tanque de almacenamiento	Trimestral	Herramientas de fontanería y equipo de seguridad
	3. Registrar las actividades de limpieza y mantenimiento realizadas en la bitácora de trabajo indicando la fecha, hora, lugar, actividad realizada, responsable, observaciones y firma	Trimestral	Bitácora de trabajo y lapicero

5.9.4.1. Lavado de tanques de almacenamiento

El lavado de tanques de almacenamiento requiere de un procedimiento previo el cual se detalla en la Figura 73.

5.9.4.1.1. Alistamiento previo










-  1. El día anterior al lavado del tanque de almacenamiento se debe cerrar la válvula de entrada de agua al tanque, para que los usuarios consuman el agua que quede en el tanque. Esto permite optimizar las condiciones previas al lavado del tanque
-  2. Para realizar el lavado y desinfección del tanque de almacenamiento el personal del acueducto deberá utilizar el equipo de seguridad establecido en el Cuadro A.8.6
-  3. Proceda a verificar el estado interno del tanque y de las valvulas de entrada y salida al tanque, si observa alguna anomalia se debe anotar y reportar en la bitacora de trabajo
-  4. Cuando existan sólidos presentes en el tanque proceda a realizar una remoción manual
-  5. Abra la válvula de entrada de agua al tanque garantizando de 10 a 20 cm de lamina de agua para iniciar el lavado del tanque, una vez obtenida esta cantidad de agua proceda a cerrar la válvula de entrada de agua

Figura 73. Alistamiento previo al lavado del tanque de almacenamiento. Tomado de (Colombiana de Salud S.A., 2009)

5.9.4.1.2. Limpieza y lavado

1. Con el agua presente en el fondo del tanque proceda a iniciar el lavado del tanque de forma manual, inicie por las paredes internas y luego el piso del tanque.
2. Abra la válvula de salida de agua al tanque hasta eliminar todo el líquido interno del tanque.
3. Abra tanto la válvula de entrada y de salida del tanque para permitir el ingreso de agua y poder enjuagar el interior del tanque, garantice el tiempo de ingreso de agua que permita la remoción total de sólidos del tanque.

Cuadro A.8.6. Instrumentos de seguridad para el lavado de tanques de almacenamiento de agua. Tomado de (Colombiana de Salud S.A., 2009)

Imagen	Parte del cuerpo	Elemento de seguridad	Actividad
	Ojos y rostro	Gafas de seguridad	Exposición a productos químicos que desprendan gases o vapores
	Aparato respiratorio	Mascarilla de doble filtro	Exposición a productos químicos que desprendan gases o vapores
	Manos	Guantes de neopreno o nitrilo	Uso de corrosivos, ácidos aceites o solventes, entre otros.
	Pies	Botas plásticas	Lavado de tanques

Para tener un mayor control de las actividades de operación y mantenimiento requeridas en los componentes hidráulicos del acueducto, se elaboró un plan de trabajo considerando las actividades detalladas en los puntos anteriores, dicho plan de trabajo se detalla en la Figura 74, dicho plan de trabajo es una guía por año que facilite el trabajo realizado por el acueducto.

APÉNDICE 9: RESULTADOS DEL ESCENARIO FUTURO DE DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

Para determinar la disponibilidad del recurso hídrico se planteó un escenario según lo estipulado por el Instituto Costarricense de Acueducto y Alcantarillados (2016), considerando que el caudal promedio de 8,15 L/s se mantiene constante a lo largo de la proyección realizada (véase el Cuadro 15); además se consideró un porcentaje de pérdidas trabajado del 20%. La dotación neta utilizada fue de 200 L/Hab*día (AYA, 2016) dicha dotación permanece constante a lo largo de la proyección. Los resultados obtenidos se detallan en el Cuadro A.9.1-A.9.3.

Cuadro A.9.1. Datos de caudal medio diario, máximo diario y máximo horario con la población obtenida del modelo aritmético

Caudal promedio de las fuentes(L/s)	Año	Población	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
8,15	2017	1205	3,49	4,18	7,53
8,15	2022	1288	3,73	4,47	8,05
8,15	2027	1371	3,97	4,76	8,57
8,15	2032	1454	4,21	5,05	9,09
8,15	2037	1537	4,45	5,34	9,61
8,15	2042	1620	4,69	5,63	10,13

Cuadro A.9.2. Datos de caudal medio diario, máximo diario y máximo horario con la población obtenida del modelo geométrico y exponencial

Caudal promedio de las fuentes(L/s)	Año	Población	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
8,15	2017	1220	3,53	4,24	7,63
8,15	2022	1324	3,83	4,60	8,28
8,15	2027	1437	4,16	4,99	8,98
8,15	2032	1559	4,51	5,41	9,74
8,15	2037	1691	4,89	5,87	10,57
8,15	2042	1835	5,31	6,37	11,47

Cuadro A.9.3. Datos de caudal medio diario, máximo diario y máximo horario con la población obtenida del promedio del modelo aritmético, geométrico y exponencial

Caudal promedio de las fuentes(L/s)	Año	Población	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
8,151	2017	1215	3,52	4,22	7,59
8,151	2022	1312	3,80	4,56	8,20
8,151	2027	1415	4,09	4,91	8,84
8,151	2032	1524	4,41	5,29	9,53
8,151	2037	1640	4,74	5,69	10,25
8,151	2042	1763	5,10	6,12	11,02

ANEXOS

ANEXO 1: TABLA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE.

Cuadro A.1.1. Tabla de número más probable (NPM) por mg/l de muestra utilizando 3 sets de tubos inoculados con 10, 1 y 0.1 respectivamente. Tomado de (Montero, 2013)

10	1	0.1	MPN/ML	10	1	0.1	MPN/ML
0	0	0	<3,0	2	0	0	9
0	0	1	3	2	0	1	14
0	0	2	6	2	0	2	20
0	0	3	9	2	0	3	26
0	1	0	3	2	1	0	15
0	1	1	6.1	2	1	1	20
0	1	2	3.2	2	1	2	27
0	1	3	12	2	1	3	34
0	2	0	6.2	2	2	0	21
0	2	1	9.3	2	2	1	28
0	2	2	12	2	2	2	35
0	2	3	16	2	2	3	42
0	3	0	9.4	2	3	0	29
0	3	1	13	2	3	1	36
0	3	2	16	2	3	2	44
0	3	3	19	2	3	3	53
1	0	0	3.6	3	0	0	23
1	0	1	7.2	3	0	1	39
1	0	2	11	3	0	2	64
1	0	3	15	3	0	3	95
1	1	0	7.3	3	1	0	43
1	1	1	11	3	1	1	75
1	1	2	15	3	1	2	120
1	1	3	19	3	1	3	160
1	2	0	11	3	2	0	93
1	2	1	15	3	2	1	150
1	2	2	20	3	2	2	210
1	2	3	24	3	2	3	290
1	3	0	16	3	3	0	240
1	3	1	20	3	3	1	460
1	3	2	24	3	3	2	1100
1	3	3	29	3	3	3	>1100

ANEXO 2: MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LA TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

Cuadro A.2.1. Modelos matemáticos para determinar las tasas de crecimiento poblacional. Tomado de (Torres-Degró, 2011)

Datos	Tasa de crecimiento poblacional		
	Aritmético <i>Arithmetic growth rate</i> (Eng)	Geométrico <i>Geometric growth rate</i> (Eng)	Exponencial <i>Exponential growth rate</i> (Eng)
Definición	Conocida también como tasa de crecimiento lineal, supone que la población <i>tiene un comportamiento de forma constante en el tiempo.</i>	Esta tasa supone <i>un incremento porcentual constante en el tiempo.</i> A diferencia del aritmético este modelo mantiene constante el % de crecimiento por unidad de tiempo y no el monto o cantidad.	A diferencia del modelo geométrico el modelo exponencial <i>supone que el crecimiento se produce de forma continua</i> y no cada unidad de tiempo.
Uso	Períodos de tiempo cortos (menos a dos años).	Factible para períodos de tiempo largos	Períodos de tiempo no muy largos (5-10 años)
Fórmula	$r = \frac{1}{a} * \left(\frac{p^{t+n} - p^t}{p^t} \right)$ <p>Ecuación 9</p> <p>Donde: r =tasa de crecimiento poblacional anual aritmética. a = amplitud entre las dos poblaciones de referencia. p^{t+n} =población al momento actual p^t= población al momento inicial o población base</p>	$r = \sqrt[a]{\frac{p^{t+n}}{p^t}} - 1$ <p>Ecuación 10</p> <p>Donde: r =tasa de crecimiento poblacional anual geométrica. a = amplitud entre las dos poblaciones de referencia. p^{t+n} =población al momento actual p^t= población al momento inicial o población base</p>	$r = \frac{\ln p^{t+n} - \ln p^t}{a}$ <p>Ecuación 11</p> <p>Donde: r =tasa de crecimiento poblacional anual exponencial. a = amplitud entre las dos poblaciones de referencia. p^{t+n} =población al momento actual p^t= población al momento inicial o población base</p>

ANEXO 3: MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

Cuadro A.3.1. Modelos matemáticos para determinar la proyección de la población. Tomado de (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2010)

Datos	Método de incremento poblacional		
	Aritmético	Geométrico	Exponencial
Definición	Este modelo permite estimar el crecimiento de la población considerando un incremento balanceado por la mortalidad y la emigración.	Este modelo permite estimar la población futura cuando el lugar de estudio posee una importante actividad económica que genere un desarrollo apreciable.	“Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión”.
Fórmula	$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$ <p style="text-align: center;">Ecuación 12</p> <p>Donde: P_f= población correspondiente al año a proyectar P_{uc}= población del último censo P_{ci}= población del censo inicial T_f= año al cual se quiere proyectar la información T_{uc}= año correspondiente al último censo T_{ci}= año del censo inicial</p>	$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 13</p> <p>Donde: P_f= población correspondiente al año a proyectar P_{uc}= población del último censo P_{ci}= población del censo inicial T_f= año al cual se quiere proyectar la información T_{uc}= año correspondiente al último censo r= tasa de crecimiento geométrico Ecuación 10</p>	$P_f = P_{ci} * e^{r * (T_f - T_{ci})}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 14</p> <p>Donde P_f= población correspondiente al año a proyectar P_{ci}= población del censo inicial T_f= año al cual se quiere proyectar la información T_{ci}= año del censo inicial r= tasa de crecimiento exponencial Ecuación 11</p>

ANEXO 4: MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LOS CAUDALES DE DISEÑO Y LA DOTACIÓN

Una vez calculado la estimación de la proyección, así como las tasas de crecimiento poblacional y la demanda actual del acueducto se procedió a proyectar los caudales requeridos a nivel futuro y la dotación bruta. El caudal medio diario representa el promedio de los consumos en un año, el caudal máximo diario representa la demanda máxima en un día del año y el caudal máximo horario representa la demanda máxima en una hora durante un año completo (López Cualla, 2003).

Cuadro A.4.1. Modelos matemáticos para determinar los caudales de diseño y la dotación bruta (López Cualla, 2003)

Dato	Ecuación	Donde
Dotación bruta	$dotación_{bruta} = \frac{dotación_{neta}}{1-\%P}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 15</p>	$dotación_{neta}$ =dotación neta (L/hab*d) $dotación_{bruta}$ =dotación bruta (L/hab*d) %P= porcentaje de pérdidas se asumió un valor del 25%.
Caudal medio diario	$Qmd = \frac{dotación_{bruta} * P}{86.400}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 16</p>	Qmd = Caudal medio diario (L/s) $dotación_{bruta}$ = dotación bruta (L/hab*d) P = Población (hab)
Caudal máximo diario	$QMD = k_1 * Qmd$ <p style="text-align: center;">Ecuación 17</p>	QMD = Caudal máximo diario (L/s) k_1 = Coeficiente de variación máximo diario, se asumió un valor de 1,2 (AYA, 2016). Qmd = Caudal medio diario (L/s)
Caudal máximo horario	$QMH = QMD * k_2$ <p style="text-align: center;">Ecuación 18</p>	QMD = Caudal máximo diario (L/s) QMH = Caudal máximo horario (L/s) k_2 = Coeficiente de variación máximo horario, se asumió un valor de 1,8 (AYA, 2016).

Nota: Los coeficientes de variación máximo diario y máximo horario se tomaron de la “Norma Técnica Para Diseño Y Construcción De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, De Saneamiento Y Sistema Pluvial” elaborada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados del año 2016.

ANEXO 5: MACHOTE DE BÍTACORA PARA EL CLORO RESIDUAL LIBRE

Cuadro A.5.1. Machote para la medición de cloro residual libre con parte del control operacional

Fecha	Hora	Responsable	Barrio	Lugar	Medición de cloro (ppm)	Caudal (mL/s)	Cumple	Observaciones	Firma
-------	------	-------------	--------	-------	-------------------------	---------------	--------	---------------	-------

ANEXO 6: MACHOTE DE BÍTACORA PARA EL PARA EL AFORO DE LAS NACIENTES

Cuadro A.6.1. Machote para el aforo de las nacientes de abastecimiento del recurso hídrico

Fecha: _____

Tiempo: _____(segundos)

Naciente				
Medición	Los Mata	Gildo Mena	Gamboa N°1	Gamboa N°2
1	Q1	Q1	Q1	Q1
2	Q2	Q2	Q2	Q2
3	Q3	Q3	Q3	Q3
4	Q4	Q4	Q4	Q4
5	Q5	Q5	Q5	Q5
Sumatoria	Q1+Q2+Q3+Q4+Q5	Q1+Q2+Q3+Q4+Q5	Q1+Q2+Q3+Q4+Q5	Q1+Q2+Q3+Q4+Q5
Promedio	<u>Sumatoria</u> 5	<u>Sumatoria</u> 5	<u>Sumatoria</u> 5	<u>Sumatoria</u> 5

Nota:

Caudal primera medición: $Q1 = \text{volumen medido (litros)} \div \text{tiempo (segundos)}$

Caudal segunda medición: $Q2 = \text{volumen medido (litros)} \div \text{tiempo (segundos)}$

Caudal tercera medición: $Q3 = \text{volumen medido (litros)} \div \text{tiempo (segundos)}$

Caudal cuarta medición: $Q4 = \text{volumen medido (litros)} \div \text{tiempo (segundos)}$

Caudal quinta medición: $Q5 = \text{volumen medido (litros)} \div \text{tiempo (segundos)}$

ANEXO 7: MACHOTE DE BÍTACORA PARA EL PARA EL CONTROL OPERATIVO

Cuadro A.7.1. Machote para el registro del control operativo

Fecha: _____

Responsable: _____

Lugar	Hora	pH (1)	pH (2)	pH (3)	Promedio de pH	Turbiedad (UNT)	Olor	Sabor

ANEXO 8: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE METALES PESADOS.



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: ASADA San Antonio de León Cortés	Fecha Muestreo: 06-04-17
Tipo de Muestra: agua de naciente	Fecha Recepción: 06-04-17
Solicitado por: Ing. Macario Pino	Fecha Inicio de Análisis: 20-04-17
Dirección: provincia: San José, cantón: Desamparados, distrito: San Antonio. Otras señas: León Cortés.	Fecha Reporte: 26-04-17
Descripción de la Muestra: Consecutivo 02: Naciente Gildo Mena	Código Muestra: 340417
Muestreado por: Ivannia Garro Ureña	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Análisis	Valor Máximo Admisible (1)	Resultados	Procedimiento
Aluminio (mg/L) (**)	0,2	< 0,2	3111 - D
Cobre (mg/L) (*)	2,0	< 0,02	3111 - B
Hierro (mg/L) (*)	0,3	< 0,01	3111 - B
Manganeso (mg/L) (*)	0,5	< 0,09	3111 - B
Arsénico (mg/L) (**)	0,01	< 0,003	3113 - B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

ND: No detectable

NA: No aplica

(1) Los valores máximos admisibles se tomaron del Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S. La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.
Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior. Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio. La presente muestra cumple con el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto # 38924-S.

Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd ed. 2012 APHA-AWWA-WEF.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.



Diana Robles
Lia Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.8.1. Resultados del análisis de metales pesados para la Naciente Gildo Mena

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica**

**Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: ASADA San Antonio de León Cortés	Fecha Muestreo: 06-04-17
Tipo de Muestra: agua de naciente	Fecha Recepción: 06-04-17
Solicitado por: Ing. Macario Pino	Fecha Inicio de Análisis: 20-04-17
Dirección: provincia: San José, cantón: Desamparados, distrito: San Antonio. Otras señas: León Cortés.	Fecha Reporte: 26-04-17
Descripción de la Muestra: Consecutivo 01: Naciente Gamboa 2	Código Muestra: 340417
Muestreado por: Ivannia Garro Ureña	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Análisis	Valor Máximo Admisible (1)	Resultados	Procedimiento
Aluminio (mg/L) (**)	0,2	< 0,2	3111 – D
Cobre (mg/L) (*)	2,0	< 0,02	3111 – B
Hierro (mg/L) (*)	0,3	< 0,01	3111 – B
Manganeso (mg/L) (*)	0,5	< 0,09	3111 – B
Arsénico (mg/L) (**)	0,01	< 0,003	3113 – B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

ND: No detectable

NA: No aplica

(1) Los valores máximos admisibles se tomaron del Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S. La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior. Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

La presente muestra cumple con el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto # 38924-S.

Metodología: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd ed. 2012 APHA-AWWA-WEF.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.8.2. Resultados del análisis de metales pesados para la Naciente Gamboa N°2

ANEXO 9: CAPACITACIÓN A LOS MIEMBROS DE LA JUNTA ADMINISTRATIVA SOBRE EL TEMA DE CLORACIÓN.

Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental
Elaborado por: Ivannia Garro Ureña

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

25-04-2017

Nombre del proyecto: “Diagnóstico y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA San Antonio de León Cortés”.

Tema: Avance 1. Cloración.

El día 25/04/2017 se realizó una charla a los miembros del Acueducto de la comunidad de San Antonio de León Cortés sobre el tema de la cloración. La finalidad de la actividad fue dar una capacitación sobre este tema; así mismo se entregó los resultados obtenidos en el seguimiento de control para el cloro residual realizado en el período de octubre-2016 a febrero-2016 realizado en: *ocho* tanques de almacenamiento y *cuatro* puntos en la red de distribución considerando un punto cercano y lejano a la cloración, además de la Escuela y el Centro de Nutrición).

Los documentos entregados a los miembros del acueducto fueron:

1. Presentación ppt.
2. Guía para la determinación del cloro residual y caudal de cloración en el Tanque Heiner.
3. Machote para realizar la bitácora de cloro residual.

Lista de asistencia:

Nombre	Puesto	Firma
<i>Andrés Muñoz Adels</i>	<i>Presidente</i>	<i>Andrés Muñoz Adels</i>
<i>Oleomar Sobino</i>	<i>Vicipresidente</i>	<i>Oleomar Sobino</i>
<i>Emilieth Bonilla</i>	<i>Vocal 1</i>	<i>Emilieth Bonilla</i>
<i>LuzBerta Mora C.</i>	<i>Vocal 2</i>	<i>LuzBerta Mora C.</i>
<i>Yinia Mora Mora</i>	<i>Tesorera</i>	<i>Yinia Mora Mora</i>
<i>David Mora Mora</i>	<i>Secretario</i>	<i>David Mora Mora</i>
<i>Carla María Sobino</i>	<i>Presidente</i>	<i>Carla María Sobino</i>
<i>JOSÉ Alberto</i>	<i>Procurador</i>	<i>JOSÉ Alberto</i>

Figura A.9.1. Lista de asistencia a la capacitación sobre el tema de cloración

ANEXO 10: COTIZACIÓN DE UN TUBIDIMETRO PARA LA ASADA SAN ANTONIO DE LEÓN CORTÉS.



DIPROLAB CENTRO AMERICA CORP.S.A

Cédula Jurídica 3-101-144478-30

50m Norte del AMPM La Paulina, carretera a Sabanilla. Teléfono : 2234-8242

Proforma No. 0035772

Cliente : ASADA SAN ANTONIO LEÓN CORTES

Fecha : 19/07/2017

Dirección : ND

Código Cliente : 39747

Teléfono (s) : 8980-66-94

Vendedor : LUZ MERY PAEZ

*

Código	Producto	Cantidad	P.Unitario	Monto
1845	HI 98703-01 TURBIDIMETRO Digital de rango 0.00 a 1000 NTU MARCA HANNA	1.00	1,207,015.00	1,207,015.00

Figura A.10.1. Cotización de un turbidímetro portátil para la ASADA San Antonio de León Cortés