

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluación, caracterización de fuentes de agua y proyecciones del sistema de abastecimiento de agua de
Agujitas, Cantón de Osa.

REALIZADO POR:

Vladimir Kazuomi Fallas Yamashita.

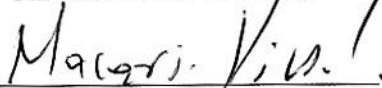
Mayo, 2014

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

Evaluación, caracterización de fuentes de agua y proyecciones del sistema de abastecimiento de agua de Agujitas, Cantón de Osa.

Informe presentado a la Escuela de Química
del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial
para optar al Título de Ingeniero Ambiental con el Grado de Licenciatura

Miembros del Tribunal



Ing. Macario Pino Gómez
Director de Tesis



Ing. Daniel Figueroa Arias
Lector 1



Ing. Jorge Calvo Gutiérrez
Lector 2

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelo Tetsuro Yamashita y mi abuela Yasuko Nagatani.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor tutor, Macario Pino por su guía, sus sugerencias, su apoyo para conseguir el transporte y los análisis de laboratorio, y por acompañarme en las giras.

A mis lectores, Daniel Figueroa y Jorge Calvo por el apoyo que me brindaron y sus valiosas observaciones.

Al profesor Luis Romero, por sus observaciones y su ayuda en la corrección del documento final.

Al profesor Andrés Araya por las valiosas sugerencias que me dio, y por prestarme el equipo de GPS.

A Ricardo Peralta, José Daniel Quesada, Fernando Vílchez, Yanitza González y Leonel Morales del AyA por la ayuda que me brindaron.

A Gustavo Gutiérrez, Ángel Castrillo Castrillo y Ángel Mendoza, presidente y fontaneros de la ASADA de Bahía Drake, por su gran apoyo y acompañamiento durante las giras.

A Marco Méndez y Alejandro Córdoba del CEQIATEC, por su apoyo y generosidad de siempre.

A la Escuela de Ingeniería Agrícola por prestarme el equipo de GPS en varias ocasiones.

A Maritza Lozano y Daniel Moreno por la gran hospitalidad y el apoyo que me brindaron en mis estadías en Drake.

A Johnny y Gretel de cabinas Jade Mar, por su hospitalidad y por prestarme su bicicleta.

A Nature Air por el patrocinio que me brindaron en una de mis giras.

A Hazel Torres, Donald, Katherine, Carolina, Geisel, Kenneth, Sthefanny, Diana, Daylin y a mis demás amigos y amigas del TEC, de danza y otros caminos, por estos años en que nos hemos apoyado y hemos compartido dichosamente tantas experiencias.

A mi familia, quienes son los pilares de mi vida: mi mamá, Kazuko, mis hermanas Aiko y Yashiko, y mi papá, Sydney. Sin su apoyo y cariño no habría podido finalizar exitosamente esta carrera universitaria.

A mi universidad y todas las personas que de alguna manera me brindaron su ayuda a través de las redes de la vida, mi agradecimiento sincero.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
TABLA DE CONTENIDOS.....	v
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
Lista de cuadros.....	xi
Lista de figuras.....	xiii
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
1. MARCO DE REFERENCIA.....	5
1.1. Sistemas de abastecimiento de agua potable.....	5
1.2. Tecnologías para el tratamiento del agua para consumo humano.....	7
1.2.1. Tecnología FiME (Filtración en múltiples etapas).....	11
1.3. Potabilización en Costa Rica.....	15
1.4. Criterios de potabilidad del agua.....	16
1.5. Disponibilidad de agua para el abastecimiento.....	19
2. METODOLOGÍA.....	20
2.1. Descripción del área de estudio.....	20
2.2. Descripción del acueducto.....	21
2.3. Diagnóstico del acueducto.....	23
2.3.1. Metodología Estandarizada SERSA del Ministerio de Salud.....	24
2.3.2. Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA.....	24
2.3.3. Encuesta a usuarios del acueducto.....	25
2.3.4. Incidencia de la calidad del agua en la salud de la población.....	25
2.4. Recolección de muestras de agua y puntos de muestreo.....	25
2.5. Análisis de muestras de agua.....	27
2.6. Aforo de fuentes de agua.....	27
2.7. Estimación de la demanda de agua.....	28
2.7.1. Metodología López (2003):.....	28
2.7.2. Metodología Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2011).	30

2.8.	Escenarios futuros de disponibilidad de agua.....	31
2.9.	Limitaciones	32
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
3.1.	DIAGNÓSTICO DEL ACUEDUCTO	34
3.1.1.	Estado de las obras de captación	34
3.1.2.	Estado de las obras de conducción	37
3.1.3.	Estado del almacenamiento	41
3.1.4.	Estado de la red de distribución.....	44
3.1.5.	Metodología estandarizada SERSA del Ministerio de Salud	45
3.1.6.	Instrumento de caracterización de ASADAs del AyA	46
3.2.	ENCUESTA A USUARIOS DEL ACUEDUCTO	47
3.3.	CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN	56
3.4.	INCIDENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN.....	58
3.5.	CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA	59
3.5.1.	Aforo de las fuentes de agua.....	59
3.5.2.	Calidad del agua en las fuentes.....	60
3.5.2.1.	Turbiedad y color	60
3.5.2.2.	pH y temperatura	62
3.5.2.3.	Indicadores microbiológicos.....	63
3.5.3.	Índice de calidad de agua.....	65
3.6.	ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN AGUJITAS.....	67
3.6.1.	METODOLOGÍA LÓPEZ (2003).....	69
3.6.1.1.	Estimación de la población futura	69
3.6.1.2.	Cálculo de consumo neto.....	74
3.6.1.2.1.	Consumo residencial.....	74
3.6.1.2.2.	Consumo no residencial.....	75
3.6.1.2.3.	Consumo neto	76
3.6.1.3.	Pérdidas de agua y consumo total.....	77
3.6.1.4.	Caudal de diseño.....	78
3.6.1.5.	Proyecciones de la demanda de agua y escenarios de disponibilidad	78
3.6.1.5.1.	Escenario A: Reducción del porcentaje de pérdidas de un 40% a un 25% durante el periodo de diseño. 80	
3.6.1.5.2.	Escenario B: No hay reducción en el porcentaje de pérdidas, durante el periodo de diseño.....	81
3.6.2.	METODOLOGÍA AYA (2011)	82
3.6.2.1.	Población actual.....	82
3.6.2.2.	Población de diseño.....	83

3.6.2.3.	Dotación	84
3.6.2.4.	Estimación de caudales.....	84
3.6.2.5.	Proyecciones de la demanda de agua y escenarios de disponibilidad.	85
3.6.2.5.1.	Escenario A: Reducción del porcentaje de pérdidas de un 40% a un 25%, gradualmente durante el periodo de diseño.....	85
3.6.2.5.2.	Escenario B: No hay reducción en el porcentaje de pérdidas, durante el periodo de diseño.....	86
3.7.	PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y MEJORAS AL SISTEMA.....	88
3.7.1	Sistema de tratamiento o potabilización.....	88
3.7.2	Mejoramiento y la planeación estratégica del abastecimiento de agua en agujitas.....	90
3.7.2.1	Fuentes de agua	91
3.7.2.2	Infraestructura y operación del acueducto.....	92
3.7.2.3	Información sobre producción en las fuentes de agua.....	94
3.7.2.4	Consumo de agua, educación y sensibilización.....	95
3.7.2.5	Gestión de la ASADA (sugerencias basadas en Instrumento de Caracterización de ASADAs del AyA) 95	
4.	CONCLUSIONES	97
5.	RECOMENDACIONES	100
5.1.	SUGERENCIAS PARA ESTUDIOS FUTUROS	100
	REFERENCIAS	101
	APÉNDICES	106
	Apéndice 1: Cuadro resumen de los principales procesos unitarios empleados en el tratamiento del agua para consumo humano.....	106
	Apéndice 2: Cálculo de índices de calidad de agua.....	112
	Apéndice 3: Estimación de consumo doméstico, metodología López (2003).....	114
	Apéndice 4: Estimación de consumo no residencial, metodología López (2003).....	117
	Apéndice 5: Análisis de consumo equivalente para Escuela de Drake y Liceo de Drake, metodología AyA (2011)	119
	Apéndice 6: Catastro de viviendas y otros usuarios del acueducto de Bahía Drake	120
	Apéndice 7: Metodología estandarizada SERSA del Ministerio de Salud.....	121
	Apéndice 8: Formulario aplicado del Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA.....	125
	Apéndice 9: Resumen de la entrevista realizada al Dr. Richard Esquivel, médico responsable del EBAIS de Agujitas, Bahía Drake durante 2013.....	128
	ANEXOS.....	130
	Anexo 1: Resultados análisis microbiológico; muestreo de octubre de 2013.	130
	Anexo 2: Resultados análisis microbiológico; muestreo de noviembre de 2013.	131
	Anexo 3: Cuadro utilizado para la determinación del tamaño de muestra de la encuesta realizada.	132

Anexo 4: Información censal correspondiente al pueblo de Agujitas, Cantón de Osa, Puntarenas, proporcionada por el INEC.	133
Anexo 5: Descripción de los parámetros, actividades a calificar y pesos relativos del Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA.	136
Anexo 5. Métodos utilizados en la proyección de crecimiento poblacional.	139
Anexo 6. Metodología de muestreo continuo del AyA.	142

RESUMEN

En Costa Rica, a pesar de que casi una cuarta parte de la población es abastecida por acueductos comunales o rurales, muchos de estos sistemas operan en condiciones frágiles. Un ejemplo es el pueblo de Agujitas, en el Cantón de Osa, donde se decidió generar información base orientada al mejoramiento del abastecimiento de agua para consumo humano. Se analizaron y evaluaron las condiciones de operación del sistema, la calidad del agua en las fuentes y se hicieron proyecciones de las necesidades hídricas de la localidad para plantear escenarios de disponibilidad mediante una metodología basada en consumos desagregados, utilizada en Colombia y otra basada en el cálculo de casas equivalentes, recomendada por el Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados (AyA). Asimismo, se realizó una encuesta a los usuarios del acueducto y se analizó la calidad del agua distribuida para detectar los principales problemas de servicio y calidad de agua en el sistema. Se identificaron numerosas condiciones de vulnerabilidad que comprometen la prestación del servicio y la salud de la población, tales como una infraestructura deficiente, un servicio discontinuo y contaminación fecal en todos los puntos muestreados en la red de distribución. Las fuentes de agua, de tipo superficial, mostraron rangos de calidad bajos en coliformes fecales y turbiedad, según un modelo para la selección de sistemas de filtración en múltiples etapas (FiME) desarrollado en Colombia, con promedios menores a 500 NMP/100 mL y 10 UNT respectivamente, lo cual indica que podría ser factible la potabilización mediante este tipo de sistema. Los escenarios de disponibilidad hídrica mostraron resultados similares con ambas metodologías y apuntan a que podría haber escasez de agua si no se implementan medidas para disminuir el consumo irracional, además sugieren la necesidad de realizar estudios adicionales como auditorías volumétricas.

Palabras clave: Acueducto rural, potabilización, FiME, demanda de agua, Costa Rica.

ABSTRACT

In Costa Rica, despite the fact that nearly a quarter of the population is served by municipal or rural water systems, many of these systems operate in fragile condition. An example is the town of Agujitas in Canton de Osa, where it was decided to generate base information towards the improvement of water supply for human consumption. The conditions of system operation and water quality at the sources were analyzed and assessed. Projections of water needs were also made to set availability scenarios using a methodology based on disaggregated consumption, used in Colombia and another based on the calculation of equivalent houses, recommended by the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewerage (AyA). Additionally, a survey was conducted to the users of the aqueduct and distributed water was analyzed in order to identify the major problems of service and water quality in the system. Numerous conditions of vulnerability that compromise the service itself and population's health, such as poor infrastructure, discontinuous service and fecal contamination in all sampled points in the distribution network were identified. Water sources (surface type), showed low quality ranges in fecal coliform and turbidity according to a model for the selection of multi-stage filtration (MSF) systems, developed in Colombia, with averages less than 500 MPN/100 mL and 10 NTU respectively, indicating that the purification could be feasible by this type of system. Water availability scenarios showed similar results with both methods and suggest that it could be a shortage of water if measures are not implemented to reduce the irrational consumption; also they suggest the need for further studies such as volumetric audits.

Keywords: rural water supply, drinking water treatment, multistage filtration, water demand, Costa Rica.

Lista de cuadros

Cuadro 1. Cuadro resumen de los principales procesos unitarios empleados en el tratamiento del agua para consumo humano. Basado en: (J. K. Edzwald, 2011; Schultz & Okun, 1990)	8
Cuadro 2. Cuadro resumen comparativo de las principales ventajas y limitaciones de tres tecnologías para la potabilización del agua. Basado en: (Fundación Chile & CONAMA, s.f.; Galvis et al., 1999.; Sánchez et al., 2007; Schultz & Okun, 1990; Vargas, 2000).	10
Cuadro 3. Desempeño de distintas plantas tipo FiME, en regiones del Valle del Cauca, Colombia en el periodo 1990-1998. Tomado de Sánchez et al. (2007).	13
Cuadro 4. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones FiME. Tomado de: (Galvis et al., 1999).....	14
Cuadro 5. Uso de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua en Costa Rica, según operador, para el año 2012. Tomado de: Programa Estado de la Nación (2013).	15
Cuadro 6. Niveles de control de calidad del agua y parámetros a analizar en cada nivel. Basado en: (<i>Reglamento para la Calidad del Agua Potable</i> , 2005).	16
Cuadro 7. Valores máximos admisibles y valores recomendados en los parámetros de control de calidad del Nivel primero. Tomado de: <i>Reglamento para la Calidad del Agua Potable</i> (2005).	18
Cuadro 8. Frecuencia mínima de análisis y número de muestras ¹ . Tomado de: <i>Reglamento para la Calidad del Agua Potable</i> (2005)	18
Cuadro 9. Coordenadas planas de los elementos mostrados en el mapa del acueducto.	23
Cuadro 10. Resumen de los muestreos realizados en la investigación.	26
Cuadro 12. Diámetros utilizados en las conducciones del sistema. Fuente: ASADA de Bahía Drake.....	38
Cuadro 12. Aforos volumétricos realizados la conducción La Gringa.	40
Cuadro 13. Longitudes aproximadas de la tubería principal de la red de distribución de agua potable.	44
Cuadro 14. Resultados de evaluación del acueducto basado en metodología SERSA del Ministerio de Salud. ...	45
Cuadro 15. Resultado de la aplicación del instrumento para caracterización de ASADAs del AyA.	46
Cuadro 16. Promedio de aparatos sanitarios por vivienda.	48
Cuadro 17. Resultados de análisis de calidad de agua en la red de distribución para el muestreo de octubre de 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC (Anexo 1).	56
Cuadro 18. Resultados de análisis de calidad de agua en la red de distribución para el muestreo de noviembre de 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC (Anexo 2).	57
Cuadro 21. Índices de calidad de agua calculados. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC y el autor.	66
Cuadro 22. Comparación de algunos parámetros medidos para el cálculo de los índices de calidad de agua con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Fuente: Elaboración propia con información de (<i>Reglamento para la Calidad del Agua Potable</i> , 2005)	67
Cuadro 23. Población censada en Agujitas. Fuente: INEC.	69
Cuadro 24. Proyección de crecimiento poblacional por método lineal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.	69
Cuadro 25. Proyección de crecimiento poblacional por método geométrico. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.	70
Cuadro 26. Proyección de crecimiento poblacional por método logarítmico. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.	70

Cuadro 27. Proyección de crecimiento poblacional por promedio de los métodos lineal, geométrico y logarítmico. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.....	70
Cuadro 28. Proyección de crecimiento poblacional por ajuste de función exponencial. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.	70
Cuadro 29. Sitios de alojamiento en el área de estudio.	75
Cuadro 30. Catastro de usuarios según el uso y criterios para la asignación del consumo diario.....	76
Cuadro 31. Consumo neto (dotación por habitante por día) estimada para Agujitas.....	77
Cuadro 32. Factores de variación de consumo definidos para el cálculo del caudal de diseño.....	78
Cuadro 33. Proyección de las dotaciones en el periodo de diseño para el escenario A; metodología López (2003).	80
Cuadro 34. Proyección de caudales en el periodo de diseño para el escenario A; metodología López (2003).....	80
Cuadro 35. Proyección de las dotaciones en el periodo de diseño para el escenario B; metodología López (2003).	81
Cuadro 36. Proyección de caudales en el periodo de diseño para el escenario B; metodología López (2003).	81
Cuadro 37. Cálculo de casas equivalentes; metodología AyA (2011).	82
Cuadro 38. Proyección de caudales en el periodo de diseño considerando una reducción en el porcentaje de pérdidas; metodología AyA (2011).	85
Cuadro 39. Proyección de caudales en el periodo de diseño considerando un porcentaje de pérdidas constante; metodología AyA (2011).	86
Cuadro 40. Parámetros físico-químicos y microbiológicos medidos en muestras de agua tomadas en captaciones utilizadas por la ASADA de Drake, para cálculo de ICA. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC y el autor.	112
Cuadro 41. Valores de calidad normalizados (<i>Q-values</i>), calculados mediante software y pesos relativos para el cálculo del ICA. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC y el autor.	112
Cuadro 42. Normalización de parámetros para el ICA-Objetivo. Tomado de: (García, 2012).....	113
Cuadro 43. Valores normalizados de calidad para el cálculo de ICA-Objetivo. Fuente: Elaboración propia.	113
Cuadro 44. Categorías de clasificación para el ICA-Objetivo. Tomado de: Sancha <i>et al</i> (2001), citado por García (2012)	113
Cuadro 45. Históricos de consumo mensual de los usuarios considerados para la estimación del consumo residencial; los usuarios resaltados en rojo corresponden a los datos eliminados. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ASADA de Bahía Drake.	115
Cuadro 46. Consumos equivalentes para diferentes tipos de prevista.....	117
Cuadro 47. Dotaciones para diseño de acueductos nuevos o mejoras en existentes. Fuente: Elaboración propia a partir de (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011).	117
Cuadro 48. Dotaciones utilizadas en la estimación de consumo no residencial.	118
Cuadro 49. Dotaciones establecidas para usuarios conocidos.	118
Cuadro 50. Matriz de caracterización de ASADAs del AyA. Fuente: AyA y ASADA de Bahía Drake.	125
Cuadro 51. Tamaños de muestra para diferentes valores de N (población), α (nivel de confianza) y d (precisión requerida a cada lado de la proporción). Fuente: (Giné-Garriga et al., 2013).....	132

Lista de figuras

Figura 1. Clasificación de sistemas rurales de abastecimiento de agua. Basado en: Barrios et al. (2009).....	5
Figura 2. Sistemas de abastecimiento de agua para comunidades. Basado en: López (2003,) y OPS (s.f.).....	6
Figura 3. Categorización de tecnologías para el tratamiento del agua según el Consejo de Investigación de los Estados Unidos. Basado en: National Research Council Staff (1996).....	9
Figura 4. Esquema de una planta de tratamiento de filtración por múltiples etapas. Tomado de: Galvis (citado por Sánchez et al., 2007)	12
Figura 5. Modelo de selección de sistemas de filtración en múltiples etapas. Tomado de: Galvis et al. (1999)....	14
Figura 6. Esquema de procesos en tratamiento convencional de tecnología CEPIS, utilizado ampliamente en Costa Rica. Basado en: Vargas (2000).....	15
Figura 7. Ubicación del área de estudio (coordenadas CRTM05). Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008)	20
Figura 8. Esquema general del sistema de abastecimiento de agua de Bahía Drake.....	21
Figura 9. Mapa con la ubicación de los principales elementos del acueducto, puntos de muestreo y usuarios encuestados. Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008)	22
Figura 10. Esquema de la captación y conducción de La Gringa.....	23
Figura 11. Esquema de la metodología López. Basado en: (López, 2003).....	29
Figura 12. Esquema general de la metodología del AyA. Basado en: (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)	30
Figura 13. Captación La Gringa, se observa una represa de concreto colado in situ; tubería sumergida cubierta con cedazo plástico. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 14. Captación Petrona, represa hecha con bloques de concreto, tubería sumergida. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 15. Ubicación de los distintos elementos del acueducto. Se observa además las áreas definidas en la zonificación del Plan Regulador Costero del Cantón de Osa. Fuente: (Municipalidad de Osa, s.f.); (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008).....	36
Figura 16. Zona deforestada camino a la captación Petrona. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 17. Conducción Petrona; tramo al margen de la quebrada justo después de la toma. Se observa una fuga a la derecha. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 18. Conducción La Gringa, tramo por sendero; no se observa un suelo rocoso por lo que sería factible enterrar la tubería. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 19. Ramas caídas sobre tramo de la conducción de la fuente Petrona. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 20. Conducción La Gringa, paso sobre la quebrada sostenido de forma artesanal por medio de troncos. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 21. Tramo aéreo conducción La Gringa, antes de llegar al Tanque Bijagua. Fuente: Elaboración propia..	40
Figura 22. Caseta de bombeo.	42
Figura 23. Tanque Bijagua. Construido con bloques de concreto, no se encuentra pintado ni resguardado con malla perimetral. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 24. El tanque se encontraba vacío al momento de la visita. La superficie de su interior debe acondicionarse según criterios técnicos (por ejemplo superficie de concreto lujado).....	43
Figura 25. Clorador de hipoclorito de calcio instalado sobre la losa del tanque. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 26. Tubería sin estructura de soporte ni anclajes a los extremos; vulnerable especialmente en época lluviosa. Fuente: Elaboración propia.	44

Figura 27. Tramos de tubería suspendidos en terrenos inestables, propensos a deslizamiento. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 28. Uso de fuentes alternativas para el abastecimiento de agua.....	47
Figura 29. Frecuencia con la que los encuestados que el agua tiene buen sabor.	48
Figura 30. Frecuencia con que los encuestados perciben que el agua no tiene olor.	48
Figura 31. Periodos en que predomina la presencia de turbiedad en el agua.	49
Figura 32. Encuestados que han identificado presencia de sólidos grandes como fragmentos de hojas o similares.	49
Figura 33. Periodos en que predomina la presencia de sólidos grandes según los encuestados.	50
Figura 34. Encuestados que han identificado coloración en el agua.....	50
Figura 35. Periodos en que predomina la presencia de sedimentos según los encuestados.....	50
Figura 36. Los círculos celestes indican el grupo de encuestados que indicó que la calidad usual del agua tardaba entre 2 y 4 horas en restablecerse, luego de que amainaba la lluvia.	52
Figura 37. Encuestados que consideran que la presión del agua es constante.....	52
Figura 38. Grupo de encuestados (círculos celestes) que aseguraron no tener agua durante el día, en la época seca; el área resaltada con líneas comprende una parte alta y media de la red. Fuente de imagen: (Google Maps, 2014)	53
Figura 39. Usuarios (círculos celestes) que mencionaron quejas similares como <i>reducción en la presión</i> pero no reportaron interrupciones frecuentes durante el día. El área resaltada con líneas comprende una parte media y baja de la red. Fuente de imagen: (Google Maps, 2014).....	54
Figura 40. Usuarios encuestados (círculos celestes) que mencionaron tener buena presión siempre o poca fluctuación. Fuente de imagen: (Google Maps, 2014).....	54
Figura 41. Usuarios que consideraron estar de acuerdo con la tarifa cobrada.....	55
Figura 42. Tiempo que tenían los encuestados de tener medidor de agua.	56
Figura 43. Medición de caudales en las fuentes utilizadas por la ASADA. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del AyA y la Dirección de Agua del MINAE.	59
Figura 44. Valores de turbiedad en las muestras de agua. La línea discontinua corresponde al valor máximo admisible según Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR, AyA y el autor.	61
Figura 45. Valores de color en las muestras de agua. La línea discontinua corresponde al valor máximo admisible según Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR, AyA y el autor.....	61
Figura 46. Promedio de pH en las muestras de agua. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR y el autor.....	63
Figura 47. Medición de temperatura en las muestras de agua. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR y el autor.....	63
Figura 48. Resultado para el análisis de coliformes fecales en la muestras de agua. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR y el autor.....	64
Figura 49. Resultado del análisis de <i>E. Coli</i> en las muestras recolectadas. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR.	64
Figura 50. Resultado del análisis de coliformes totales en las muestras recolectadas. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR.	65
Figura 51. Gráfico del crecimiento poblacional de Agujitas en los tres últimos censos nacionales. Fuente: INEC.	69

Figura 52. Proyecciones de crecimiento poblacional para el pueblo de Agujitas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.	71
Figura 53. Catastro de viviendas, comercios e institucionales en el área de Agujitas. Basado en: (Municipalidad de Osa, s.f.),(Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008).....	73
Figura 54. Porcentajes acumulados del consumo promedio mensual residencial, acueducto de Bahía Drake.	74
Figura 55. Visitaciones al Parque Nacional Corcovado en el periodo 2002-2012. Basado en: (ICT, 2010, 2013)	79
Figura 56. Visitaciones a la Reserva Biológica Isla del Caño en el periodo 2002-2012. Basado en: (ICT, 2010, 2013)	79
Figura 57. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario A, metodología López (2003). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.....	81
Figura 58. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario B, metodología López (2003). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.....	82
Figura 59. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario A, metodología AyA (2011). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.....	85
Figura 60. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario B, metodología AyA (2011). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.....	86
Figura 61. Gráfico de varianzas para el consumo anual de cada vivienda antes del proceso de análisis individual de casos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ASADA de Bahía Drake.	114
Figura 62. Mapa con la ubicación de las viviendas y demás edificaciones identificadas en Agujitas. Fuente: Elaboración propia.....	120

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ASADA.....	Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Comunes
AyA.....	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CAAR.....	Comité Administrador de Acueducto Rural
CEPIS.....	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CEQIATEC.....	Centro de Investigación y Servicios Químicos y Microbiológicos del I.T.C.R.
CINARA.....	Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico
CRI-Sur.....	Comisión de Regionalización Interuniversitaria - Pacífico Sur
DBO.....	Demanda bioquímica de oxígeno
E.coli.....	Escherichia coli
EBAIS.....	Equipos Básicos de Asistencia Integral en Salud
FGAC.....	filtro grueso ascendente en capas
FGDi.....	filtro grueso dinámico
FiME.....	filtración en múltiples etapas
FLA.....	filtro lento de arena
GPS.....	sistema de posicionamiento global
HP.....	caballos de fuerza (<i>horse power</i>)
ICA.....	índice de calidad de agua
INEC.....	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
MINAE.....	Ministerio de Ambiente y Energía
OMS.....	Organización Mundial de la Salud
ONU.....	Organización de las Naciones Unidas
PEAD.....	polietileno de alta densidad
PVC.....	cloruro de polivinilo
SINAC.....	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UEN.....	Unidad Estratégica de Negocios
UNICEF.....	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
UNT.....	unidades nefelométricas de turbiedad
UPC.....	unidades de platino-cobalto

INTRODUCCIÓN

En la literatura se hace alusión con frecuencia a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Millennium Development Goals), entre los que se define como meta reducir a la mitad la población sin acceso sostenible a agua potable y saneamiento básico (objetivo 7.C.), utilizando como punto de referencia el año 1990 (ONU, 2014).

En ese sentido, el último reporte del Programa de Monitoreo Conjunto (*Joint Monitoring Programme*) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF por sus siglas en inglés) menciona que a finales de 2011 el 89% de la población mundial utilizó una fuente mejorada de agua para consumo humano, un estimado de 768 millones de personas no tuvo acceso a una fuente mejorada y de ellas 185 millones utilizaron agua superficial para cubrir sus necesidades, siendo esta una de las fuentes más susceptibles a contaminación de diversos orígenes (OMS & UNICEF, 2013). Aunque un 89% parece alentador ante un 68% del año 1990 (UNICEF, s.f.), lo cierto es que estas cifras, en términos de fuentes mejoradas o no mejoradas ^a, no describen aspectos importantes que determinan el nivel del servicio recibido, como la cantidad y continuidad de agua a la que tuvieron acceso las personas, la distancia a la fuente (y por tanto el tiempo utilizado en recolectar agua) así como los usos de la misma (Mihelcic, 2009).

Existen diferentes parámetros para medir el acceso al agua, según Howard y Bartram (Citado por Mihelcic et al., 2009) un acceso al agua óptimo significa que deben haber condiciones ideales tales como múltiples grifos en la casa, una dotación de entre 100 y 300 L/(hab*día) y una calidad que asegure un muy bajo riesgo a la salud. En contraposición, un acceso al agua básico es aquel en el que la persona debe desplazarse entre 5 y 30 min, con una cantidad de agua recolectada menor a los 20 L/(hab-día) y una calidad difícil de asegurar, no satisfaciéndose todas las necesidades básicas de agua.

Por su parte, la Ley General de la Salud establece en su artículo 267 que “Todo sistema de abastecimiento de agua destinada al uso y consumo de la población, deberá suministrar agua potable, en forma continua, en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de las personas y con presión necesaria para permitir el correcto funcionamiento de los artefactos sanitarios en uso” (*Ley General de Salud*, 1973).

^a La ONU define una fuente de agua mejorada como conexiones domiciliarias, tubos/piletas públicas, pozos profundos, pozos excavados protegidos, nacimientos protegidos, agua llovida recolectada. Por su parte considera fuentes no mejoradas como: nacimientos sin protección, pozos excavados sin protección, camiones cisternas o vehículos con pequeños tanques, agua superficial, agua embotellada (OMS & UNICEF, 2013b)

Según el Décimo Noveno Informe sobre el Estado de la Nación en Costa Rica un 98,2% de la población cuenta un servicio de abastecimiento de agua por conexión intradomiciliaria, el 92,2% recibe agua potable y el 86,8% agua sometida a desinfección (Programa Estado de la Nación, 2013). No obstante, para 2011 se estimó que 423726 personas fueron abastecidas con agua no potable y de ellas 271126 correspondieron a usuarios de acueductos rurales o comunales constituidos por ASADAs o CAARs (Mora et al., 2012). Por su parte, según estadísticas oficiales de la ONU (2011), la población urbana con acceso a fuentes mejoradas de agua pasó de un 99% en 1990 a un 100% en 2011, sin embargo los datos para la población rural indican que se pasó de un 87% a un 91% en el mismo periodo, lo cual es consistente con el Informe sobre el Estado de la Nación y refleja un claro contraste entre zonas urbanas y rurales.

En 2011, de 2359 acueductos en operación, 1919 correspondieron a ASADAs o CAARs que en conjunto abastecieron a un 23,8% de la población nacional (1023119 personas) (Mora et al., 2012). A pesar de abastecer a casi una cuarta parte de la población nacional dichos entes operadores enfrentan muchos problemas que comprometen la sustentabilidad de sus sistemas y por lo tanto del servicio que brindan, por ejemplo tienen poco monitoreo y control de calidad del agua, su infraestructura es deficiente en muchos casos y carecen de un acompañamiento técnico y apoyo financiero efectivo por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Evidencia de esta situación son los numerosos casos de contaminación química y microbiológica que se han reportado en el periodo 2001-2012 en acueductos comunales (Programa Estado de la Nación, 2013).

En el pueblo de Agujitas, ubicado en el Cantón de Osa, Puntarenas, el servicio de agua, suministrado por la ASADA de Bahía Drake, abastece a una población menor a los mil habitantes por medio de conexiones intradomiciliares. Sin embargo el principal problema es la calidad del agua, que a causa de no haber un tratamiento apropiado, no es potable según se constató en los análisis microbiológicos realizados. Además, existen problemas importantes en la continuidad del servicio según muestran los resultados de la encuesta aplicada a los usuarios del acueducto, situación que se ve agravada por los consumos irracionales de los mismos (según evidenció el estudio de demanda de agua del pueblo).

Esta investigación pretende contribuir al mejoramiento de las condiciones de abastecimiento de agua para consumo humano en comunidades que enfrentan problemas similares a los encontrados en Agujitas. Las metodologías de análisis y evaluación empleadas buscan generar información de base que contribuya a una adecuada planificación del abastecimiento de agua.

Esta investigación analiza las condiciones en que opera la ASADA de Bahía Drake, así como la calidad del agua en las fuentes que utiliza. Incluye a su vez un análisis del consumo actual y estimaciones del consumo futuro del recurso hídrico en el pueblo de Agujitas. Para la recopilación de la información se emplearon herramientas como la revisión de documentos, inspecciones visuales, georreferenciación, encuestas, metodologías de evaluación estandarizadas (Metodología Estandarizada SERSA del Ministerio de Salud, Instrumento de Caracterización de ASADAs del AyA), muestreo y análisis físico químico y microbiológico. El análisis de la información recopilada se apoyó en revisión bibliográfica, consulta a expertos y se sirvió de herramientas como la estadística descriptiva, sistemas de información geográfica y matemáticas aplicadas.

Objetivo general

Generar una base de información sobre el abastecimiento de agua para consumo humano en el pueblo de Agujitas en el cantón de Osa enfocado en el análisis del estado del acueducto, caracterización de las fuentes de agua y estimación de las necesidades hídricas, de modo que contribuya a la planificación y toma de decisiones de los diferentes actores comunales e institucionales involucrados en el mismo.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado del acueducto mediante la descripción de la calidad y cantidad de agua en sus fuentes, infraestructura y calidad del agua distribuida, además conocer la percepción de los usuarios sobre la calidad del agua y del servicio brindado.
2. Estimar las necesidades hídricas actuales y futuras de la comunidad de Agujitas mediante un análisis de oferta y demanda, con el fin de realizar proyecciones de demanda de agua y plantear escenarios de disponibilidad del recurso.
3. Proponer acciones de mejoramiento viables a partir de la información recopilada y mediante las alternativas analizadas, enfocado en la elección de una tecnología para el tratamiento del agua así como en recomendaciones de gestión y de recopilación de información.

Con base en estos objetivos, se logró caracterizar las fuentes de agua, conocer la opinión de los usuarios del acueducto sobre la calidad del agua y del servicio prestado por la ASADA, y evaluar la calidad del agua distribuida en la red. Asimismo, se evaluó las condiciones del acueducto, se estimó una

demanda actual y futura de agua en el pueblo, y se propuso un posible tratamiento de potabilización y recomendaciones de mejora.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Sistemas de abastecimiento de agua potable

Barrios et al. (2009) clasifican los sistemas rurales de abastecimiento de agua según el nivel de servicio y según las opciones tecnológicas utilizadas para brindar dicho servicio. La Figura 1 ilustra dicha clasificación. Por ejemplo, un sistema como el que abastece a la población de Agujitas, según el nivel de servicio se clasificaría como de conexión domiciliaria o familiar, pues todos los usuarios se encuentran conectados a una red de distribución pública. Sin embargo, no podría clasificarse según la opción tecnológica utilizada pues el acueducto carece de tratamiento.

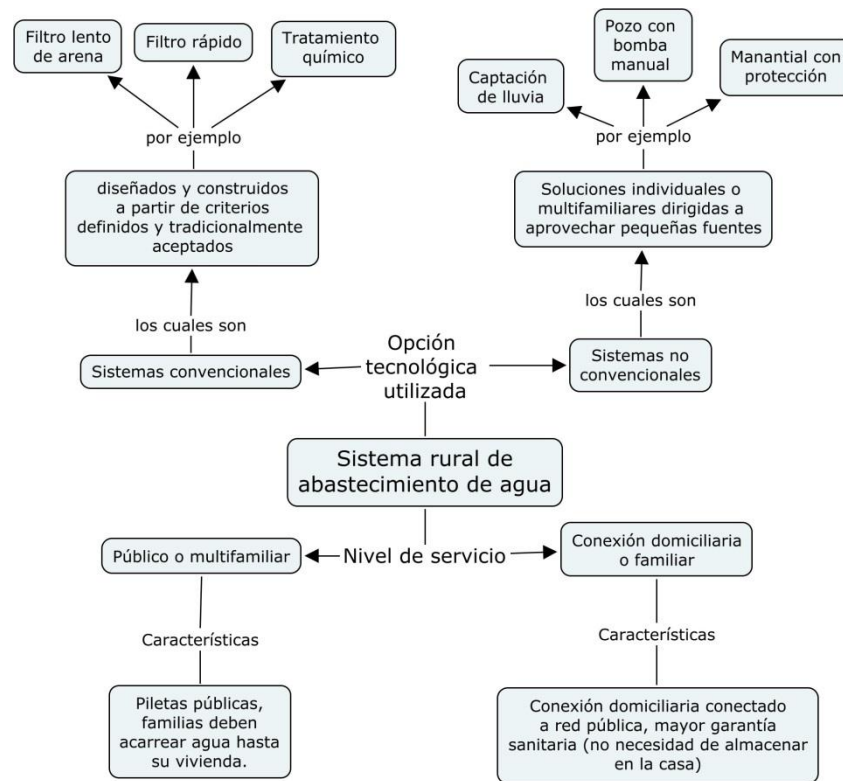


Figura 1. Clasificación de sistemas rurales de abastecimiento de agua.
Basado en: Barrios et al. (2009)

López (2003) a su vez menciona que un sistema de abastecimiento de agua potable para una comunidad debe tener los siguientes elementos: Fuente de abastecimiento, Obras de captación, Obras de conducción, Sistema de tratamiento, Almacenamiento y Distribución. Además, los clasifica según su fuente en primarios y principales. La Figura 2 muestra según dicha clasificación, que los sistemas primarios corresponden a soluciones individuales o a pequeña escala como cisternas o tanques para captar de agua de lluvia, en cambio los sistemas principales atienden poblaciones que pueden ser

pequeñas pero estructuradas, como el caso de Agujitas que a su vez se clasificaría como un sistema por gravedad y bombeo, sin tratamiento.

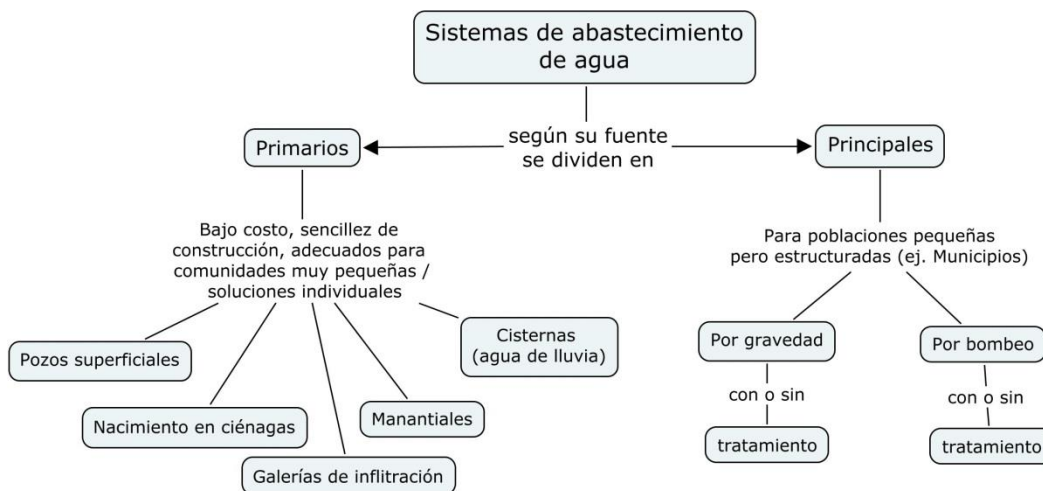


Figura 2. Sistemas de abastecimiento de agua para comunidades. Basado en: López (2003,) y OPS (s.f.).

La clasificación de sistemas principales de López, coincide con la de sistemas convencionales de Barrios et al (2009), pues este último los clasifica de la misma manera (por gravedad o bombeo, con o sin tratamiento). Los sistemas sin tratamiento implican que las fuentes de agua sean de muy buena calidad, pudiendo ser incluso potables en la captación (normalmente son fuentes de agua subterráneas).

En un sistema de abastecimiento de agua y especialmente en sistemas comunales o rurales, es primordial asegurar la sustentabilidad del mismo. Un sistema sustentable es capaz de operar adecuadamente en el largo plazo y tiene las siguientes características (Wade Miller Associates & Okun, citado por National Research Council Staff, 1996):

- ✓ Compromiso de cumplir las expectativas de servicio.
- ✓ Acceso a fuentes de agua de calidad y cantidad suficiente para satisfacer las necesidades futuras.
- ✓ Un sistema de tratamiento y distribución que satisfaga las expectativas del consumidor y cumpla con la regulación respectiva.
- ✓ La capacidad técnica, institucional y financiera para satisfacer las necesidades de salud y seguridad pública, en el largo plazo.

1.2. Tecnologías para el tratamiento del agua para consumo humano

No existe un proceso “genérico” capaz de tratar cualquier problema de calidad agua, sino que existe una gama de procesos unitarios que se emplean para diferentes propósitos, entre los cuales el prestador del servicio de agua potable debe escoger la combinación necesaria para dar tratamiento al agua cruda de la fuente disponible. (National Research Council Staff, 1996). Elder & Budd (2011) mencionan algunos de los factores que típicamente se consideran durante la evaluación y selección de los procesos de tratamiento:

- a) Calidad del agua de la fuente.
- b) Conformidad con la regulación nacional y requerimiento de remoción de contaminantes.
- c) Confiabilidad y flexibilidad del proceso.
- d) Costos iniciales de construcción y de operación y mantenimiento anuales.
- e) Impactos ambientales.
- f) Preferencias y capacidades de la empresa de servicios públicos.
- g) Espacio disponible en el sitio.
- h) Requerimientos para el manejo de residuos y limitaciones del sitio.

Schultz y Okun (1990) abordan el tema de tecnologías adecuadas para países en desarrollo, las cuales son tecnologías que deben adaptarse al contexto social y económico de estos. Por ejemplo, mencionan la importancia de no “exportar” tecnologías utilizadas comúnmente en países industrializados a países en desarrollo, pues la experiencia ha demostrado el fracaso de este abordaje principalmente en lo que respecta a sistemas de abastecimiento de agua para poblaciones pequeñas (Schultz y Okun hacen la salvedad de que en grandes centros urbanos sí pueden emplearse tecnologías más complejas siempre que existan las condiciones de acceso a repuestos y servicio técnico y un servicio financiado por una economía de escala). En su lugar sugieren el uso de tecnologías más simples, de fácil operación y mantenimiento. En ese sentido, recomiendan algunos lineamientos para el diseño y construcción de plantas de tratamiento de agua en países en desarrollo, entre ellos:

- ✓ Restringir el uso de equipo mecánico al producido localmente.
- ✓ Preferir dispositivos basados en principios hidráulicos, que aprovechen la gravedad para procesos como coagulación y floculación.

- ✓ El periodo de diseño para la construcción del sistema debe ser más corto, para reducir la carga financiera en la población actual; los diseños deben ser para periodos de 5 a 10 años.
- ✓ Diseño del sistema acorde a la calidad del agua cruda a tratar.
- ✓ El organismo que opere y mantenga el sistema, debe tener la capacidad de reclutar, entrenar y retener al personal requerido para una operación continua.

Morató & Gris (2009) por su parte, sugieren el uso de tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua, las cuales definen como tecnologías apropiadas, de bajo costo, con sentido participativo que persiguen el apropiamiento por parte de la comunidad, de tal modo que esta sea capaz de operarla, mantenerla y sostenerla en el largo plazo con un mínimo de intervención institucional externa. Esta definición enfatiza la importancia de la participación de los miembros de la comunidad en proyectos de abastecimiento de agua, también sugerido por Schultz y Okun (1990) y otros autores como Reents (2003).

Existen muchos procesos y tecnologías para la potabilización del agua. El Cuadro 1 muestra un resumen de los diferentes procesos unitarios utilizados comúnmente en plantas potabilizadoras en Costa Rica. En el Apéndice 1 puede consultarse una versión extendida del mismo cuadro, con otros procesos de tratamiento utilizados en la actualidad.

Cuadro 1. Cuadro resumen de los principales procesos unitarios empleados en el tratamiento del agua para consumo humano. Basado en: (J. K. Edzwald, 2011; Schultz & Okun, 1990)

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Coagulación y floculación	Proceso comúnmente usado como pretratamiento para procesos de filtración rápida. Consiste en facilitar la aglomeración de pequeñas partículas coloidales (que difícilmente sedimentan) en partículas más grandes que pueden ser físicamente removidas. Coagulantes normalmente utilizados incluyen el sulfato de aluminio y el cloruro de hierro.
Sedimentación y flotación	Normalmente se aplican luego de procesos de coagulación o precipitación. Ambos son procesos por gravedad. En la sedimentación la densidad de las partículas es mayor a la del agua, por tanto sedimenta, en el caso de la flotación, la densidad del agregado que se forma entre la burbuja y el flóculo es menor que la del agua y por tanto el agregado se eleva (y de esa forma es separado).
Filtración en medio granular	Incluye sistemas de filtración convencionales como lechos granulares y filtros lentos. La filtración en lechos granulares consiste en un filtro que contiene una cama de medio granular colocada en una capa de soporte sobre un falso fondo o bajo dren. Algunos medio filtrantes comúnmente utilizados son: arena, antracita, carbón activado granular. En Costa Rica, estos filtros se conocen como <i>filtros rápidos</i> y se utilizan en el proceso posterior a la coagulación-floculación y sedimentación. <i>La filtración lenta</i> es similar a la filtración en medio granular pero difiere en cuanto a que las tasas de carga hidráulica son mucho menores y se utiliza un medio filtrante más fino. Gran parte de la remoción ocurre en una capa gelatinosa de carácter biológico normalmente conocida como <i>schmutzdecke</i> y en la porción superior de la cama de arena. A pesar de que los procesos de filtración permiten clarificar el agua, su función principal es remover partículas que puedan tener patógenos microbianos.

Continuación Cuadro 1.

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Desinfección química	<p>La desinfección es un proceso fundamental para asegurar que no haya patógenos en el agua. Es un proceso que para ser efectivo debe acompañarse con procesos para la remoción de partículas, como un tratamiento de múltiples barreras contra microorganismos infecciosos transmitidos por el agua.</p> <p>Tradicionalmente se han utilizado desinfectantes químicos como el cloro. Aunque otras alternativas han surgido, es probable que los desinfectantes químicos se continúen utilizando debido a la necesidad de mantener un efecto residual en las redes de distribución.</p> <p>Algunos desinfectantes comúnmente utilizados incluyen el cloro libre, cloraminas, dióxido de cloro y ozono. La desinfección tiene dos objetivos y se conocen como desinfección primaria y desinfección secundaria. La primaria se refiere a la inactivación de microorganismos patógenos durante el tratamiento. La secundaria se aplica para proveer un desinfectante residual que proteja el agua en las redes de distribución, contra una posible intrusión de contaminantes.</p>

Según el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos, las tecnologías para el tratamiento del agua cambian constantemente y tarde o temprano se clasifican dentro de una de las categorías de la Figura 3 (National Research Council Staff, 1996). Dichas categorías son: tecnologías convencionales, las cuales son ampliamente utilizadas por operadores e ingenieros (por ejemplo la tecnología convencional de coagulación-floculación), tecnologías aceptadas (las cuales no son tan utilizadas o existe personal en el campo que no se encuentra familiarizado con ellas) y tecnologías emergentes (que por lo general se encuentran en investigación o en fase de planta piloto).

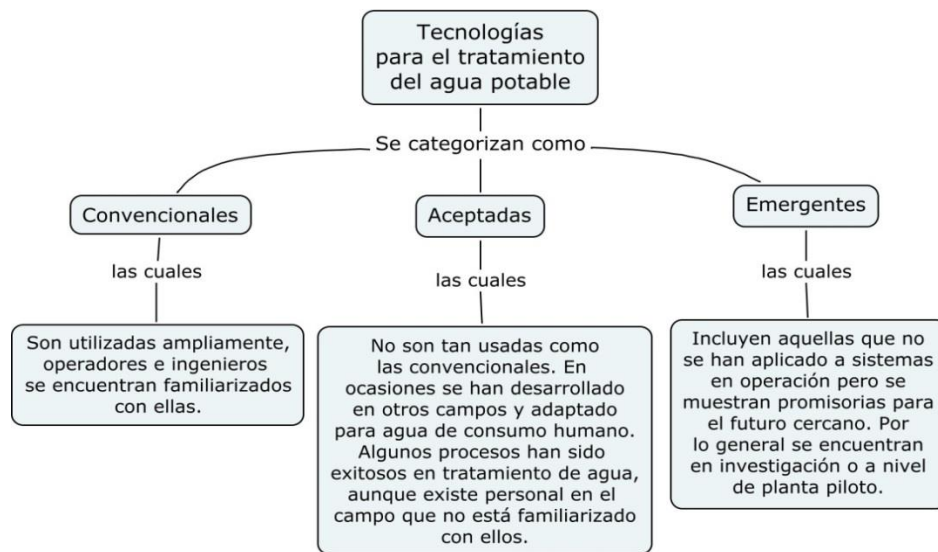


Figura 3. Categorización de tecnologías para el tratamiento del agua según el Consejo de Investigación de los Estados Unidos. Basado en: National Research Council Staff (1996).

En el Cuadro 2 se resume de forma comparativa algunas ventajas y limitaciones de tres tecnologías que podrían solventar las necesidades de potabilización en Agujitas. Se observa que aunque las plantas convencionales prácticamente no tienen limitaciones en cuanto a la calidad del agua cruda que reciben (pueden operar independientemente de las cargas de turbiedad del agua), su operación y mantenimiento es complejo y requiere manejo de insumos químicos, además generan lodos con metales (como aluminio o hierro, dependiendo del coagulante utilizado) que requieren una gestión adecuada. La filtración lenta en arena es una tecnología robusta y ampliamente utilizada, no requiere insumos químicos y su operación y mantenimiento es simple, sin embargo su principal desventaja es que ante variaciones en la calidad del agua cruda (turbiedades mayores a 50 UNT) pueden darse taponamientos prematuros (colmatación del filtro) reduciendo drásticamente las carreras del filtro. La filtración en múltiples etapas (FiME) tiene las ventajas de la filtración lenta en arena e incorpora la capacidad de operar con variaciones en la turbiedad del agua cruda.

Cuadro 2. Cuadro resumen comparativo de las principales ventajas y limitaciones de tres tecnologías para la potabilización del agua. Basado en: (Fundación Chile & CONAMA, s.f.; Galvis et al., 1999.; Sánchez et al., 2007; Schultz & Okun, 1990; Vargas, 2000).

Tecnología	Ventajas	Limitaciones
Planta convencional	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buen desempeño en grandes plantas (mejores condiciones técnicas y operativas). ✓ Adaptación a diversas calidades de agua (prácticamente no tiene limitaciones de calidad). ✓ Tasas de producción de agua potable mayores que la filtración lenta. ✓ Puede operar por energía hidráulica (aunque por lo general se requieren dosificadores de coagulante que utilizan energía eléctrica) 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Implica compra, transporte, almacenamiento y correcta utilización de componentes químicos, lo cual es complejo y costoso en zonas rurales y pequeños municipios ❖ Requiere operador calificado de forma permanente. ❖ Generación de lodos (con metales). ❖ Cuando las concentraciones de los parámetros son bajas, la eficiencia disminuye requiriendo mayor consumo de reactivos, generando gran cantidad de lodos.

Continuación Cuadro 2.

Tecnología	Ventajas	Limitaciones
Filtración lenta en arena	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Operación y mantenimiento fácil. ✓ Para la limpieza, no se requiere operarios calificados y puede realizarse con herramientas manuales. ✓ No requiere uso de químicos. ✓ Pueden utilizarse continuamente durante varios meses antes de que sea necesaria su limpieza (siempre que el agua afluyente no sea muy turbia o con altas concentraciones de algas). ✓ Costo de construcción es bajo. ✓ No requiere energía eléctrica. ✓ No requiere grandes cantidades de agua para lavado. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Altas turbiedades pueden ocasionar taponamientos prematuros de los filtros. ❖ Dada la naturaleza biológica del proceso, requiere un caudal continuo de agua que asegure el suministro de oxígeno y nutrientes (tratamiento se ve afectado por bajas temperaturas, baja concentración de nutrientes y bajos niveles de oxígeno disuelto). ❖ Admite valores de turbiedad afluyente de entre 5 UNT (o menores) hasta 50 UNT. Algunos autores aceptan rangos de 50 – 120 UNT siempre y cuando sean por periodos cortos (pocas horas durante uno o dos días). ❖ Es esencial un pretratamiento si el agua cruda tiene turbiedades superiores a 50 UNT. ❖ Grandes requerimiento de terreno. ❖ Cierta tipo de algas puede interferir con el proceso de filtración.
Filtración en múltiples etapas (FiME)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Excelente alternativa para mejorar la calidad física, química y microbiológica del agua. ✓ Diseño relativamente simple, facilita el uso de materiales y mano de obra del lugar. ✓ Costos de funcionamiento son principalmente por concepto de mano de obra (se demostró que en un periodo de más de 10 años, el 85% de los costos operacionales correspondieron a costos de personal). ✓ Bajos costos de operación/mantenimiento y requerimientos de energía, comparado a otros sistemas. ✓ No utilización de químicos, equipos especializados o materiales importados. ✓ Es un sistema que puede ser fácilmente administrado, operado y mantenido por organizaciones comunitarias. ✓ Capacidad de operar adecuadamente ante variaciones en la calidad del agua afluyente. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Proceso ecológico; depende de una estrecha relación entre condiciones ambientales (como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y la radiación solar), concentración de nutrientes y el rol de los microorganismos (como algas, bacterias, protozoarios). ❖ Altos niveles de turbiedad (o turbiedad de naturaleza coloidal) pueden ocasionar dificultades en el tratamiento (Estos problemas son menores que en Filtros lentos). ❖ Concentraciones mayores a 1 mg/L de hierro pueden contribuir a la colmatación de las unidades de filtración lenta. ❖ Excesivo crecimiento de algas puede ocasionar colmatación rápida de los filtros y otros problemas. ❖ Baja eficiencia en la remoción de color y carbono orgánico. ❖ Proceso de limpieza simple pero laborioso, lo cual no necesariamente es una limitación en lugares donde la mano de obra es barata.

1.2.1. Tecnología FiME (Filtración en múltiples etapas)

Una planta de filtración en múltiples etapas (FiME) es una combinación de filtración lenta con un pretratamiento de filtros de grava (filtración gruesa dinámica y filtración gruesa). Es una tecnología considerada como sostenible que se desarrolló en Colombia en la década de 1980 y que vino a solventar los problemas que presentaban muchos sistemas de filtración lenta que utilizaban fuentes de agua superficial. Dichos sistemas experimentaban taponamientos prematuros debido a las variaciones en la

turbiedad y picos de color de las aguas superficiales que trataban y otros problemas en su operación a causa de la intermitencia de los caudales a tratar (los filtros lentos requieren un flujo continuo de agua para asegurar un suministro de oxígeno y nutrientes que permitan el proceso biológico del filtro) (Sánchez et al., 2007). La Figura 4 muestra un esquema de este proceso de tratamiento, el cual inicia con la captación de agua superficial, seguido por un primer pretratamiento de filtración gruesa dinámica (que actúa amortiguando picos de alta turbiedad) y un segundo pretratamiento de filtración gruesa (normalmente dos unidades en paralelo). Como tratamiento final se tiene la filtración lenta y la desinfección.

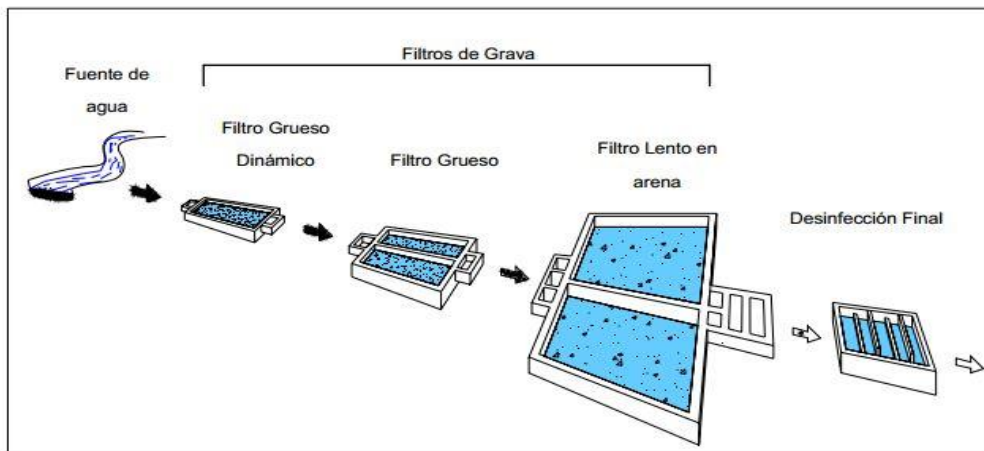


Figura 4. Esquema de una planta de tratamiento de filtración por múltiples etapas. Tomado de: Galvis (citado por Sánchez et al., 2007)

La tecnología FiME es aceptada y considerada como una opción viable por el AyA para el abastecimiento de agua en comunidades, de hecho la guía “Criterios para el diseño de acueductos rurales” del AyA menciona que:

“Todas las aguas de quebrada que se empleen en el abastecimiento de comunidades requieren la construcción de una planta de tratamiento. Si la calidad del agua, caudal y condiciones del medio lo permiten el tratamiento de las aguas se realizará mediante el empleo de la tecnología FiME”. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011).

Una investigación realizada en varios sistemas FiME en la región del Valle del Cauca, Colombia, demostró la alta efectividad de las plantas FiME en la remoción de turbiedad y coliformes fecales, operando inclusive con cargas altas (Sánchez et al., 2007). En el Cuadro 3 se resumen algunos de los resultados de dicha investigación. Se observa que en el sistema El Retiro ingresaban turbiedades máximas de hasta 180 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), y se lograban remociones del 98,5%

con turbiedades de salida de 2,7 UNT. También se evaluó la capacidad de remoción de color “reduciendo los niveles promedios de color entre 5 y 30 UPC con valores máximos de hasta 200 UPC, hasta niveles promedios entre 3 y 4 UPC con máximos de hasta 30 UPC”(Sánchez et al., 2007). En Colombia existen más de 125 plantas FiME operando actualmente en distintas regiones (Sánchez et al., 2007).

Cuadro 3. Desempeño de distintas plantas tipo FiME, en regiones del Valle del Cauca, Colombia en el periodo 1990-1998. Tomado de Sánchez et al. (2007).

Nombre	Caudal l/s (1)	Turbiedad (UNT) (2)		Conteo de Coliformes Fecales / 100ml (2)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
El Retiro	15.1	14 (180)	0.6 (2.7)	5847 (69,500)	0.5 (8)
Cañasgordas	8.9	12.1 (75)	0.8 (4.1)	7000 (223,000)	1.5 (23)
La Rivera	3.8	5.9 (51)	0.6 (4.3)	3600 (23,100)	0.5 (28)
Javeriana	1.8	24.2 (300)	0.9 (12)	14,935 (204,000)	0.8 (25)
Shaloom	1	3.8 (22)	0.8 (2.9)	2895 (14,200)	4.3 (46)
Colombo	0.6	14.6 (122)	0.6 (6)	51,900 (677,000)	0.9 (82)
La Marina	7	6 (112)	1.1 (6.2)	803 (35,700)	1.8 (28)
Ceylan	9.4	2.8 (15)	0.4 (5.8)	330 (1920)	0.9 (12)
Restrepo	0.8	7.5 (55)	0.6 (2.8)	831 (15100)	0.7 (23)

1. Capacidad de Planta en l/s (1 l/s provee 350 Personas con 250 litros diarios)

2. La tabla muestra los datos mínimos; los datos máximos se presentan en paréntesis.

El Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) en Colombia, desarrolló un modelo para la selección de sistemas de tratamiento FiME con base en la experiencia de tratamiento de distintas fuentes superficiales en el valle geográfico del río Cauca, en Colombia. Dicho modelo determina la selección de distintas combinaciones de filtro grueso dinámico, filtro grueso ascendente y filtro lento de arena, y se basa principalmente en una serie de rangos de parámetros de calidad, los cuales se muestran en el Cuadro 4. Luego de analizar la turbiedad, el color real y coliformes fecales de la fuente de agua a utilizar, se toman los valores promedio obtenidos y se clasifica la fuente en un rango bajo, intermedio o alto (según cada parámetro).

La matriz del modelo se muestra en la Figura 5. Dicha matriz considera que todas las opciones de tratamiento tienen un filtro grueso dinámico (FGDi) y un filtro lento de arena (FLA) con velocidades de filtración de 2,0 m/h y 0,15 m/h respectivamente, siendo el tipo de filtro grueso ascendente (FGA) lo que varía. Por ejemplo si al caracterizar una fuente se obtiene un rango bajo de coliformes fecales,

turbiedad y color real, la matriz indica que no es necesario un filtro FGA. Si los rangos de calidad fueran otros, el FGA elegido sería el que indique la celda de intersección entre fila (rangos de calidad de coliformes fecales) y columna (rangos de calidad de turbiedad y color).

Cuadro 4. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones FiME. Tomado de: (Galvis et al., 1999)

RANGO	NIVEL PROMEDIO
Bajo	Turbiedad < 10 UNT Coliformes Fecales < 500 UFC/100 ml Color Real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT Coliformes Fecales 500 - 10000 UFC/100 ml Color Real 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT Coliformes Fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml Color Real 30 - 40 UPC

Turbiedad (UNT) \ Color Real (UC)	Turbiedad (UNT)			
	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
Coliformes Fecales (UFC/100 ml) \ Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500	Sin FGA	FGAC _{0,6}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}
500 - 10000	FGAC _{0,6}	FGAC _{0,6}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}
10000 - 20000 (*)	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAC _{0,45}	FGAS _{3,0,3}

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

Clasificación de fuentes según el rango de calidad :




	bajo
	medio
	alto

Figura 5. Modelo de selección de sistemas de filtración en múltiples etapas. Tomado de: Galvis et al. (1999)

1.3. Potabilización en Costa Rica

En Costa Rica la potabilización del agua para el abastecimiento de la población se realiza empleando principalmente tres sistemas: plantas convencionales, las cuales utilizan tecnología desarrollada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), desinfección de agua subterránea (como único tratamiento) y las plantas FiME a nivel rural (Ricardo Peralta, comunicación personal, 17 de marzo de 2014). Los procesos involucrados en las plantas convencionales se muestran en la Figura 6. Dicho proceso inicia con una coagulación química seguida de floculación y sedimentación, filtración de alta tasa y desinfección final. Las características de cada proceso fueron descritas en el Cuadro 1 de la sección anterior.

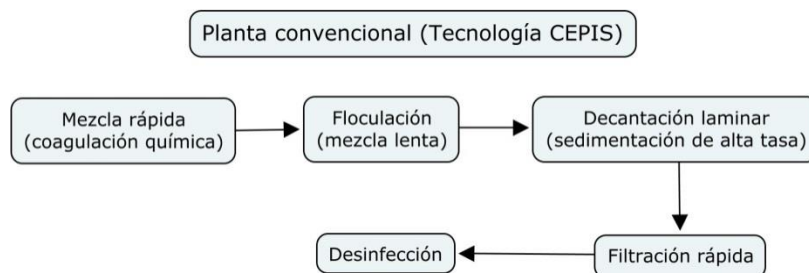


Figura 6. Esquema de procesos en tratamiento convencional de tecnología CEPIS, utilizado ampliamente en Costa Rica. Basado en: Vargas (2000).

La utilización de fuentes subterráneas para abastecimiento de agua es generalizada en Costa Rica debido a la poca necesidad de tratamiento que requieren (usualmente solo desinfección). El Cuadro 5 muestra la cantidad y el tipo de fuentes de agua utilizadas para abastecimiento humano en 2012 (Programa Estado de la Nación, 2013). Se observa que la mayor cantidad de fuentes utilizadas correspondió a pozos y nacientes, para un 93,5% de las fuentes de abastecimiento (4614 fuentes).

Cuadro 5. Uso de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua en Costa Rica, según operador, para el año 2012. Tomado de: Programa Estado de la Nación (2013).

Ente operador	Pozos	Nacientes	Plantas	Superficiales	Total	Porcentaje
AyA	280	199	32	18	529	10,7
Municipalidades	57	344	4	29	434	80,0
CAAR/ASADAs	672	3042	20	213	3947	8,8
ESPH	17	3	0	5	25	0,5
Total	1026	3588	56	265	4935	100,0

1.4. Criterios de potabilidad del agua

En muchos países desarrollados, debido a la estandarización de procesos de potabilización del agua muy efectivas, se eliminó el riesgo microbiológico por lo que el monitoreo y control de la calidad del agua se empezó a enfocar en las enfermedades crónicas provocadas por concentraciones bajas de compuestos químicos con efectos crónicos como los subproductos de desinfección (p.ej.: trihalometanos) (J. Edzwald & Tobiason, 2011; Schultz & Okun, 1990). Esto no implica que el riesgo microbiológico haya dejado de tener importancia en esos países, sin embargo sí se considera un riesgo eliminado (J. Edzwald & Tobiason, 2011; Schultz & Okun, 1990).

En Costa Rica, el riesgo microbiológico es de mucha importancia sobre todo en sistemas comunales. En ese sentido, el análisis de parámetros microbiológicos es uno de los principales indicadores de potabilidad del agua pues la contaminación microbiológica implica un riesgo de enfermedad aguda.

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (decreto número 32327-S) establece los niveles máximos que deben tener “aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua en beneficio de la salud pública” (*Reglamento para la Calidad del Agua Potable*, 2005). En dicho reglamento se establece una serie de niveles de control de calidad del agua, desde el Nivel primero (N1) hasta el Nivel cuarto (N4), según se observa en el Cuadro 6. Dicho cuadro muestra que cada nivel incluye una serie de parámetros distintos a analizar, y según se aumenta el nivel (desde el primero hasta el tercero) los parámetros se acumulan, es decir, el Nivel segundo (N2) incluye los parámetros del N1 y el Nivel tercero (N3) incluye los del N2.

Cuadro 6. Niveles de control de calidad del agua y parámetros a analizar en cada nivel. Basado en: (*Reglamento para la Calidad del Agua Potable*, 2005).

Nivel de control de calidad	Descripción	Parámetros a analizar
Nivel primero (N1)	Programa de control básico paralelo a la inspección sanitaria, para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento y la distribución de agua potable.	Coliformes fecales, Escherichia coli., color aparente, turbiedad, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad y cloro residual libre o combinado.
Nivel segundo (N2)	Programa de control básico ampliado, a ser aplicado en las fuentes de agua, almacenamiento y distribución.	Todos los establecidos en el N1 ampliados con: dureza total, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo.

Continuación Cuadro 6.

Nivel de control de calidad	Descripción	Parámetros a analizar
Nivel tercero (N3)	Control avanzado de agua potable.	Los establecidos en el N2, ampliados con: nitrito, amonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, antimonio, selenio y residuos de plaguicidas.
Nivel cuarto (N4)	Programas ocasionales ejecutados por situaciones especiales de emergencia o porque la inspección sanitaria identifique un riesgo inminente de contaminación del agua.	Según la situación identificada pueden ser: sólidos totales disueltos, sulfuro de hidrógeno, cianuros, sustancias orgánicas de significado para la salud, desinfectantes y subproductos de la desinfección. Otros parámetros como: Siguella sp, Salmonella sp., Streptococos fecales, Vibrio cholerae 01 toxigénico, Aeromonas hydrophila, nemátodos, Entamoeba hystolytica, Cryptosporidium, Virus de Hepatitis A., Enterovirus y cianobacterias tóxicas, deben estar ausentes en las muestras analizadas. Como indicadores de vulnerabilidad de un sistema pueden utilizarse los coliformes totales.

Según el Artículo 7 del reglamento mencionado, los entes operadores de servicios públicos de abastecimiento de agua deben asegurar que se realice un monitoreo de calidad de agua de acuerdo con la población abastecida. El N1 debe realizarse en todos los acueductos del país, el N2 y el N3 en poblaciones abastecidas superiores a 10000 y 50000 habitantes respectivamente (*Reglamento para la Calidad del Agua Potable*, 2005).

El Cuadro 7 muestra los valores máximos admisibles y valores recomendados para el Nivel primero de control de calidad. Los valores recomendados corresponden a concentraciones que implican un riesgo mínimo o aceptable para la salud de los consumidores del agua. Los valores máximos admisibles son concentraciones a partir de las cuales existe rechazo del agua por parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud, e implica que si se sobrepasan deben tomarse acciones correctivas inmediatas. Por ejemplo, ninguno de los indicadores microbiológicos (Coliformes fecales o *Escherichia coli*) son tolerados por lo tanto deben ser ausentes.

Cuadro 7. Valores máximos admisibles y valores recomendados en los parámetros de control de calidad del Nivel primero. Tomado de: Reglamento para la Calidad del Agua Potable (2005).

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Coliforme fecal	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
Escherichia coli ^a	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
Color aparente	mg/L (Unidades Pt-Co)	5	15 ^b
Turbiedad	UNT	<1	5 ^b
Olor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Temperatura	°C	18	30
pH ^c	Valor pH	6,5	8,5
Conductividad	µS/cm	400	--
Cloro residual libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro residual combinado	mg/L	1,0	1,8

a. El indicador bacteriológico de contaminación fecal más preciso es la Escherichia coli

b. Valor máximo admisible en no más del 10% de las muestras analizadas durante el año.

c. Las aguas deben ser estabilizadas de forma que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos o en los utensilios para calentar o hervir el agua.

En lo que respecta a la recolección de muestras, el Artículo 10 (10.3.) establece que debe acatarse la periodicidad y cantidad de muestras que indica el Cuadro 8. Por ejemplo en un acueducto como el que abastece al pueblo de Agujitas (con menos de 1000 habitantes), el análisis N1 debería realizarse de forma semestral tanto en las fuentes como en la red de distribución, tomando al menos tres muestras en esta última.

Cuadro 8. Frecuencia mínima de análisis y número de muestras ¹. Tomado de: Reglamento para la Calidad del Agua Potable (2005)

Población abastecida (base del cálculo: 200 L por habitante por día)	Análisis N1 ^a Frecuencia/ Número de muestras en		Análisis N2 ^b Frecuencia/ Número de muestras	Análisis N3 ^c Frecuencia/ Número de muestras
	Fuentes	Redes		
Menos de 2000	Semestral	Semestral/3	Anual/1	Anual/1
2001-5000	Trimestral	Trimestral/3	Semestral/1	Anual/1
5001-10000	Mensual	Mensual/3	Semestral/1	Anual/1
10001-15000	Mensual	Quincenal/3	Semestral/1	Anual/1
15001-20000	Mensual	Quincenal/6	Semestral/1	Anual/1
Más de 20000	Mensual	Quincenal/ ^d	Trimestral/1	Semestral/1
Más de 100000	Mensual	Diario/ ^e	Trimestral/1	Semestral/1

1. La frecuencia y número de muestras para los análisis del nivel 4, serán establecidos de acuerdo a cada situación particular (brotes de enfermedades de origen hídrico, contaminaciones accidentales, otros).

a. En cada visita, se deberá recolectar muestras bacteriológicas en las fuentes y el almacenamiento y la red de distribución. Los puntos de análisis físico químicos, en la red de distribución, son los mismos de los bacteriológicos, pero con frecuencia semestral o trimestral, cuando se tenga identificada la línea base de calidad. El procedimiento de recolección de muestras en estructuras de almacenamiento debe asegurar la representatividad de la muestra.

b,c. En estos niveles solamente, se recolectan muestras en las fuentes de abastecimiento, a no ser que la inspección sanitaria lo establezca, para la red de distribución.

d. Una muestra adicional por cada 5000 habitantes.

e. Una muestra adicional por cada 10000 habitantes.

1.5. Disponibilidad de agua para el abastecimiento

Una de las primeras etapas en el diseño de un acueducto nuevo o en la evaluación de un acueducto existente consiste en realizar un balance hídrico en el que se estudie tanto las necesidades de agua de la población (demanda de agua) como la producción en las fuentes (oferta o disponibilidad de agua).

Los caudales en las fuentes deben ser capaces de suplir las necesidades de la población durante el periodo de diseño del acueducto y la variación en la producción de agua de las fuentes debe ser tal que en el periodo de estiaje (momento crítico en la época seca) que es cuando se esperan los mínimos caudales, las fuentes sean capaces de satisfacer las necesidades de abastecimiento. Esta información es vital para plantear escenarios de disponibilidad de agua y advertir anticipadamente si podría darse escasez del recurso.

Dicha información puede obtenerse directamente mediante aforos, por un periodo de al menos un año o generando datos sintéticos mediante una modelación hidrológica de la microcuenca (Andrés Araya, comunicación personal, enero 2014). Otros criterios como el de la OPS & CEPIS (2005) mencionan que se debe conocer los caudales de la fuente, variaciones por estación, niveles máximos y mínimos de por lo menos tres años. López (2003) por su parte, menciona que una fuente de abastecimiento debe tener un caudal superior al caudal de diseño en cualquier momento del año, información que debe determinarse por medio de estudios hidrológicos que permitan trazar curvas de duración de caudales, en el caso de corrientes superficiales. Este método establece que el caudal correspondiente al 95% del tiempo, deber ser superior a dos veces el caudal medio diario del sistema de acueducto, en captaciones por gravedad.

2. METODOLOGÍA

2.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el pueblo de Agujitas, el cual pertenece al distrito Sierpe del Cantón de Osa, provincia de Puntarenas. Agujitas se ubica en la parte sur de Bahía Drake, en la costa norte de la Península de Osa según se observa en la Figura 7. El área de estudio puede ubicarse en la Hoja Sierpe 3442-II del Instituto Geográfico Nacional, aproximadamente entre las coordenadas 958895 y 962896 Norte, 536135 y 539723 Este (coordenadas CRTM05). Dicha área abarca el pueblo de Agujitas, las captaciones de agua, los diferentes elementos del acueducto y la red de distribución que administra y opera la ASADA de Bahía Drake.

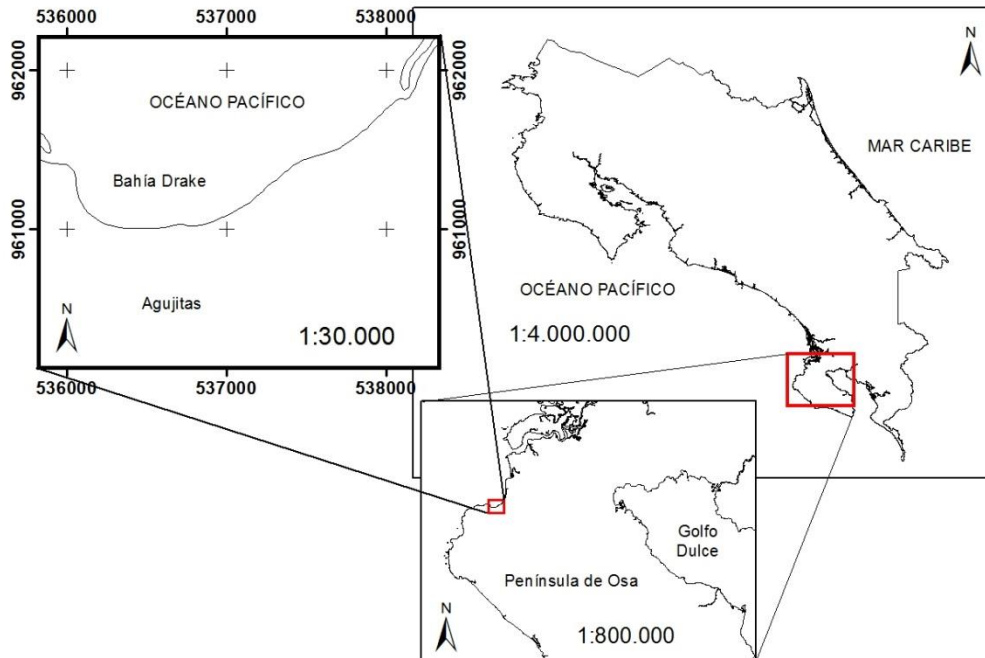


Figura 7. Ubicación del área de estudio (coordenadas CRTM05). Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008)

La zona de estudio se caracteriza por tener precipitaciones anuales de entre 4000 a 5000 mm, con 200 a 250 días de lluvia al año, siendo los meses de setiembre y octubre los más lluviosos (600-700 mm y 900-1100 mm respectivamente) (Instituto Meteorológico Nacional, 2009). La temperatura media es mayor a los 28°C, con temperaturas mínimas mayores a 22°C y máximas mayores a 32°C (Instituto Meteorológico Nacional, 2009).

La principal actividad económica en Bahía Drake es el ecoturismo y el pueblo de Agujitas constituye un punto de hospedaje para turistas que visitan el Parque Nacional Corcovado o la Reserva

Biológica Isla del Caño (Livenais, 2009). La ASADA de Bahía Drake se encarga del abastecimiento de agua para la población de Agujitas. Actualmente abastece a 169 usuarios (residenciales y no residenciales) para un aproximado de 433 habitantes, sin embargo debido al crecimiento en la actividad turística la demanda de agua se incrementa considerablemente en ciertas épocas del año, pudiendo alcanzar 275 personas si se da una ocupación completa (aproximadamente un aumento del 63,5% en la población). Esta situación, sumada a la fragilidad y limitaciones con que opera la ASADA hacen que el recurso hídrico escasee y se presenten problemas en la calidad y cantidad del agua, así como en la continuidad del servicio.

2.2. Descripción del acueducto

El acueducto de la ASADA de Bahía Drake constituye un sistema principal mixto (por gravedad y bombeo) sin tratamiento, con conexiones domiciliarias. Al momento del estudio, existían en uso tres fuentes superficiales de agua denominadas Don Carmen, Petrona y La Gringa. Cada fuente tiene su propia conducción en tubería de cloruro de polivinilo (PVC); las fuentes Don Carmen y Petrona se encuentran conectadas directamente a la red de distribución por gravedad, y La Gringa conduce el agua por gravedad pero utiliza bombeo en un pequeño tramo para poder impulsar el agua a un tanque de almacenamiento denominado Tanque Bijagua. No existe sistema de tratamiento. La Figura 8 describe a nivel esquemático el sistema:

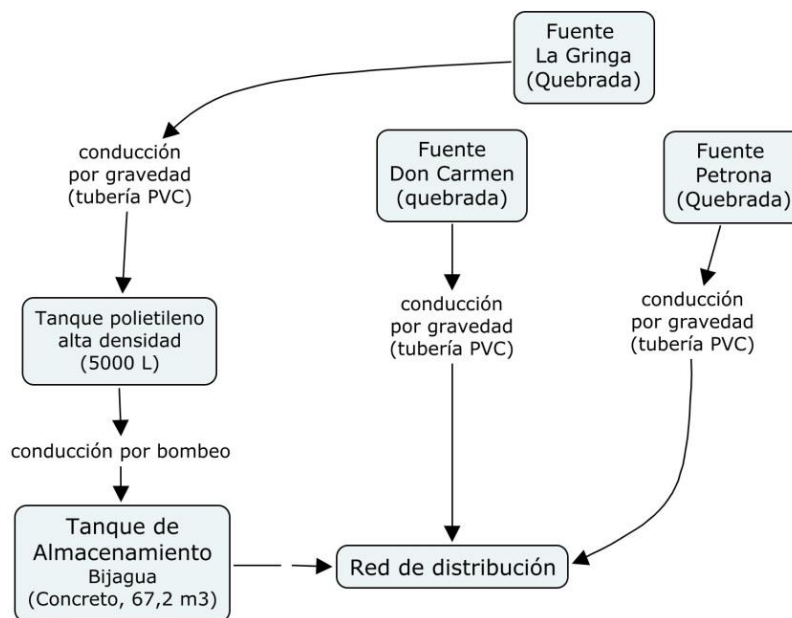


Figura 8. Esquema general del sistema de abastecimiento de agua de Bahía Drake

Mediante el recorrido y georreferenciación de los distintos elementos del acueducto se generó un mapa para lograr una mayor comprensión del sistema (Figura 9). El Cuadro 9 muestra el código, descripción y coordenadas de cada elemento mostrado en el mapa (incluye algunas aproximaciones de altitud).

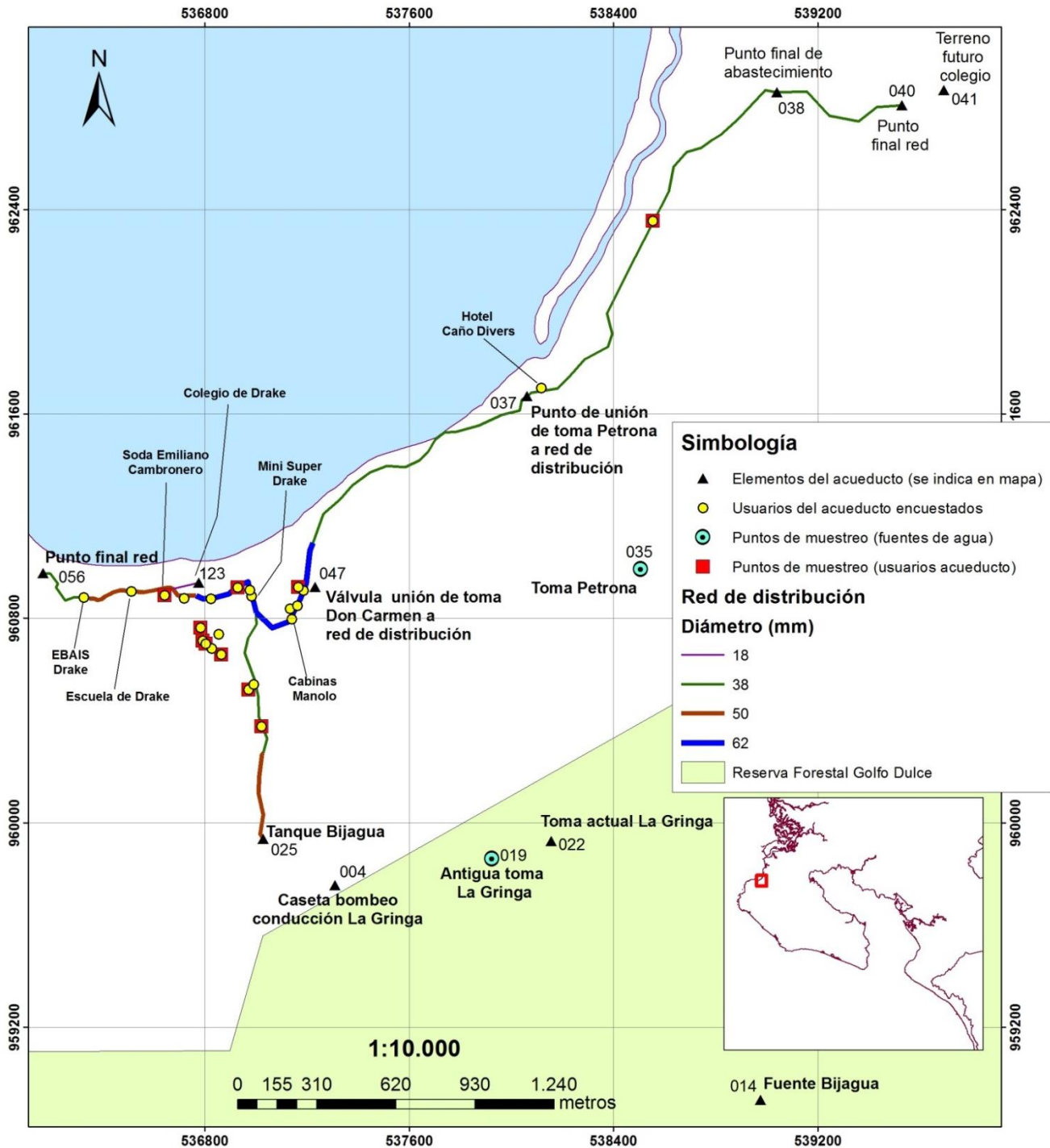


Figura 9. Mapa con la ubicación de los principales elementos del acueducto, puntos de muestreo y usuarios encuestados. Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008)

Cuadro 9. Coordenadas planas de los elementos mostrados en el mapa del acueducto.

Código en el mapa	Descripción	Coordenadas (CRTM05)		Altitud aproximada ^a (m)
		Latitud	Longitud	
004	Caseta bombeo/ Toma La Gringa	959756	537310	58,5
014	Fuente Bijagua	958916	538974	-
019	Antigua toma La Gringa	959859	537924	103,7
022	Toma actual La Gringa	959928	538155	111,7
025	Tanque Bijagua	959937	537029	109
035	Toma Petrona	960991	538507	121,9
037	Punto de unión de toma Petrona a red de distribución	961669	538060	-
038	Punto final de abastecimiento	962858	539040	-
040	Punto final red	962808	539529	-
041	Terreno futuro colegio.	962866	539694	-
047	Válvula unión de toma Don Carmen a red de distribución	960923	537230	-
056	Punto final red	960976	536166	-
123	Colegio de Drake	960939	536775	-

a. Altitudes aproximadas mediante ajuste lineal a partir de valores conocidos para un punto de control a diferentes horas del día.

2.3. Diagnóstico del acueducto

Se realizó una inspección visual y se georreferenciaron las captaciones, tuberías de conducción, tanque de almacenamiento, estación de bombeo, conexiones entre las tuberías de conducción y la red de distribución y otros puntos de interés como la ubicación del futuro colegio de Drake (el cual requiere disponibilidad de agua para su construcción y funcionamiento).

Con el fin de estimar un porcentaje de pérdidas en la conducción, se realizó un aforo volumétrico en la captación La Gringa y al final de la tubería de conducción (en el tanque de PEAD de la caseta de bombeo) utilizando un balde plástico y un cronómetro digital. El aforo de la captación se hizo en una tubería de rebose la cual es del mismo diámetro que la tubería de conducción y se encontraba a sección llena al momento de aforar, por lo que se consideró que captaba aproximadamente el mismo caudal (Figura 10).

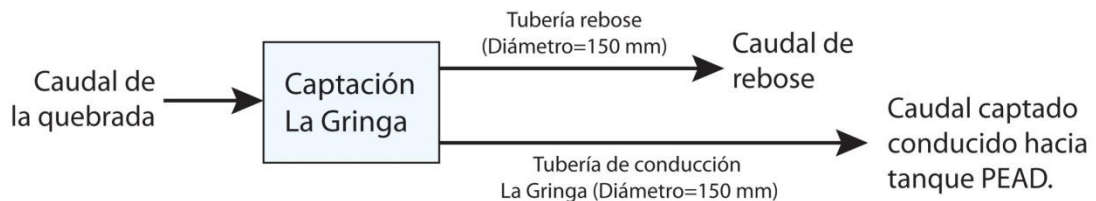


Figura 10. Esquema de la captación y conducción de La Gringa.

Se trazó un catastro aproximado de la tubería principal de la red de distribución mediante tracks de GPS (líneas georreferenciadas trazadas por el equipo durante desplazamientos). Dicho levantamiento

se realizó en compañía del fontanero de la ASADA de Bahía Drake, quien tiene dominio de la ubicación de los elementos mencionados que se georreferenciaron.

Se aplicó la Metodología Estandarizada SERSA del Ministerio de Salud (Ministerio de Salud, s.f.) para evaluar el grado de vulnerabilidad así como el Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, s.f.) para establecer la gestión realizada por la ASADA en la administración y operación del acueducto. La información se obtuvo mediante la inspección visual de los diferentes elementos del acueducto y por medio de entrevista a miembros de la Junta Directiva de la ASADA. Las visitas al área de estudio se realizaron del 10 al 13 de octubre de 2013, del 21 al 24 de noviembre de 2013 y del 14 al 17 de abril de 2014.

2.3.1. Metodología Estandarizada SERSA del Ministerio de Salud.

Esta metodología consiste en tres listas de chequeo que evalúan factores de riesgo en la toma o captación, en el tanque de almacenamiento y en la línea de conducción y red de distribución. La calificación se basa en una escala de 0 a 10, siendo 0 riesgo nulo, de 1 a 2 Riesgo bajo, de 3 a 4 Riesgo intermedio, de 5 a 7 Riesgo alto y de 8 a 10 riesgo muy alto, esto dependiendo de la cantidad de respuestas afirmativas (sí). Asimismo para cada nivel de riesgo identificado se indican acciones sugeridas. En el Apéndice 7 puede consultarse a detalle los formularios de la metodología.

2.3.2. Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA.

De forma similar al instrumento SERSA del Ministerio de Salud, la UEN de Gestión de ASADAs de la Subgerencia de Gestión de Acueductos Comunales del AyA desarrolló este instrumento el cual consiste en un formulario para caracterizar a las ASADAs con base en una escala de 0 a 100. Dicha caracterización se divide en los siguientes parámetros: (1) Gestión organizacional, (2) Gestión Administrativa y Comercial, (3) Gestión en Operación y Mantenimiento, (4) Gestión Ambiental y (5) Gestión de riesgo. Cada uno de los rubros tiene un peso relativo según su importancia y una vez calificados, se suman los porcentajes obtenidos y se clasifica a la ASADA en uno de tres rangos a saber: ASADA A o Consolidada ($80 \leq i \leq 100$), ASADA B o en desarrollo ($60 \leq i < 80$) y ASADA C o frágil ($i < 60$). La descripción, los aspectos incluidos a calificar y los pesos relativos de cada uno de los parámetros del instrumento pueden consultarse en el Anexo 5.

2.3.3. Encuesta a usuarios del acueducto.

Se aplicó una encuesta elaborada por el investigador para conocer la percepción de los usuarios del acueducto sobre la calidad del agua y el servicio prestado en la comunidad. La muestra se definió utilizando la metodología de Giné-Garriga et al. (2013), la cual es una matriz que facilita la elección de un tamaño muestra en función del tamaño de la población, el nivel de confianza y la precisión requerida a ambos lados de la proporción. Se seleccionaron las casas aleatoriamente con el programa Microsoft Excel a partir de una lista de abonados proporcionada por la ASADA. Fueron encuestadas 19 casas de habitación, una soda/restaurante, un “mini super”, un hotel de mediana capacidad (capacidad para 30 personas, servicios y atención personalizada), un establecimiento de cabinas (capacidad para 23 personas), el EBAIS de Drake y la Escuela de Drake. Los datos fueron procesados con el programa SPSS Statistics 17.0 el cual se utilizó para ingresar los datos de los formularios aplicados y así generar cuadros de frecuencias a partir de los cuales se hicieron los gráficos (realizados en Microsoft Excel). Además, se recolectaron 10 muestras para análisis de coliformes fecales entre los usuarios encuestados para determinar la potabilidad del agua en la red. Dichas muestras se recolectaron el 24 de noviembre de 2013, el procedimiento empleado se menciona en la sección 2.4.

2.3.4. Incidencia de la calidad del agua en la salud de la población

Para conocer cómo está incidiendo la calidad del agua en los habitantes de la comunidad, se realizó una entrevista a Richard Esquivel, médico responsable del EBAIS de Agujitas de Drake durante el año 2013. La entrevista fue realizada el 22 de noviembre de 2013 con el fin de conocer la apreciación profesional de Esquivel en torno al tema. El resumen de la entrevista puede consultarse en el Apéndice 9.

2.4. Recolección de muestras de agua y puntos de muestreo

Con el fin de determinar las necesidades de tratamiento en un eventual sistema de potabilización y para conocer la calidad del agua en las fuentes, se tomaron muestras puntuales de agua en las captaciones Petrona y La Gringa. Además se realizaron dos muestreos en la red de distribución. En el Cuadro 10 se muestra la fecha, localización y parámetros analizados en dichos muestreos. La información correspondiente a los análisis realizados en la captación Don Carmen fue proporcionada por el Proyecto CRI-SUR.

Cuadro 10. Resumen de los muestreos realizados en la investigación.

Fecha de muestreo	Parámetro analizado	Localización	Cantidad de muestras
13/10/2013	Color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, nitrógeno total, fósforo, DBO, coliformes fecales, pH, temperatura y oxígeno disuelto	Captación La Gringa y Petrona (Puntos 019 y 035 respectivamente de la Figura 9)	Cinco muestras por cada fuente ^a (pH y temperatura se midieron in situ).
13/10/13	Coliformes fecales	Escuela de Drake, EBAIS de Drake, Casa Kinder (Nature Kids), Panadería Delicias, tres residencias (parte baja, media y alta de la red de distribución) ^b	Ocho muestras.
24/11/13	Coliformes fecales	Puntos de muestreo en usuarios del acueducto según indica la Figura 9 . Los puntos sin rotulación corresponden a residencias.	10 muestras.
15/04/2014	Color, turbiedad, pH	Captación La Gringa y Petrona (Puntos 019 y 035 respectivamente de la Figura 9)	Dos muestras (una por fuente).
16/04/2014	Color, turbiedad, pH	Captación La Gringa y Petrona (Puntos 019 y 035 respectivamente de la Figura 9)	Dos muestras (una por fuente).

a. Algunos parámetros podían analizarse a partir de una misma muestra (p.ej.: color y turbiedad, y ambos análisis de sólidos)

b. El muestreo del 13/10/2013 no se georreferenció.

Las muestras se recolectaron en botellas plásticas de polietileno y bolsas plásticas esterilizadas para análisis microbiológico. Se transportaron en hielera plástica durante el muestreo y posteriormente se transportaron con hielo a aproximadamente 4°C hasta el laboratorio.

Para la toma de muestras puntuales en las fuentes de agua, se realizaron inicialmente varios enjuagues de las botellas plásticas con el agua de las quebradas y se recolectaron en puntos del cauce donde hubiera un flujo continuo de agua (sin estancamiento).

Para el muestreo realizado en la red de distribución, se procedió inicialmente dejando abierta por unos minutos la llave de chorro (tubo o cachera) de donde se tomó la muestra y luego se desinfectó con algodón embebido en alcohol etílico de 90° (etanol desnaturalizado), finalmente se recolectó la muestra en bolsas plásticas esterilizadas. No hubo necesidad de añadir tiosulfato de sodio debido a que el agua distribuida no era clorada al momento de la recolección de muestras.

2.5. Análisis de muestras de agua

El análisis de color, turbiedad, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos fue realizado por el investigador en el laboratorio de Agua Potable de la Unidad de Ingeniería Ambiental del I.T.C.R. y en el CEQIATEC. Para el análisis de color se utilizó equipo La motte Smart 2, tomando el promedio de tres lecturas; la turbiedad se midió utilizando equipo Orbeco HELLIGE TB200-10, igualmente con el promedio de tres lecturas. El análisis de sólidos suspendidos totales se realizó de acuerdo con el método 2540 del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Métodos Estandarizados para el Análisis de Agua y Agua Residual). La medición de pH, temperatura y oxígeno disuelto fue realizada in situ con un equipo Hanna HI 98128 y Oakton DO2700 respectivamente.

El análisis de nitrógeno total, fósforo, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales se solicitó al Centro de Investigación y Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC). Dichos análisis se realizaron conforme los procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, edición vigésimo segunda.

Se procedió a calcular un índice de calidad de agua (ICA) a partir de la muestra tomada en la captación La Gringa. Dicho índice de calidad de agua se calculó para obtener información exploratoria, pues solo se realizó un muestreo el 13 de octubre de 2013. Los índices utilizados fueron el ICA de la National Sanitation Foundation (NSF - Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos), utilizado en una investigación de Torres et al. (2010) en aguas superficiales destinadas a abastecimiento de población, y el ICA-Objetivo, el cual permite clasificar la calidad del agua y determinar posibles usos y/o necesidades de tratamiento para abastecimiento de agua, citado por García (2012). Para el cálculo del ICA-NSF se obtuvieron los valores adimensionales (valores de calidad en el rango de 0 a 100) de cada parámetro utilizando el software en línea de Oram (2013)^b que utiliza curvas de calidad de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos, y las curvas de nitrógeno total y fósforo total se obtuvieron de Stambuk-Giljanovic (1999).

2.6. Aforo de fuentes de agua

La medición de caudales en las fuentes de agua fue suministrada por el AyA y se realizó el 19 de marzo de 2013, fecha cercana al final de la época seca de ese periodo. Las fuentes aforadas fueron Petrona y La Gringa, no se aforó Don Carmen debido a que esa fuente se seca en verano. El AyA aforó

^b Dicho software se encuentra disponible en la dirección: <http://www.water-research.net/watrqualindex/waterqualityindex.htm>

además otra fuente denominada Bijagua, la cual se está considerando como una opción para alimentar un futuro proyecto de abastecimiento de agua para el pueblo de Agujitas. Esta fuente tiene un caudal muy superior a La Gringa y Petrona, sin embargo no existe ninguna infraestructura instalada pues a la fecha no es una fuente que se haya aprovechado.

Se consultó además el expediente de la ASADA de Bahía Drake en el Registro Nacional de Concesiones de Aguas y Cauces de la Dirección de Agua del MINAE. Se encontró información correspondiente a un aforo realizado el 29 de octubre de 2009 y los caudales otorgados para las fuentes Don Carmen y Petrona, la fuente La Gringa no estaba inscrita. No se cuenta con más registros de aforos debido a que no es una práctica usual de la ASADA.

Se tuvo acceso además a información correspondiente a aforos realizados por la Dirección de Agua del MINAE el 29 de octubre de 2009.

2.7. Estimación de la demanda de agua

Se emplearon dos metodologías para proyectar las necesidades hídricas del área de estudio, la metodología de López (2003) y la del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2011), la cual es más simple y se realizó con el objetivo de comparar los resultados de la primera proyección. Ambas metodologías se detallan a continuación.

2.7.1. Metodología López (2003):

La metodología de López (2003) consiste en el cálculo de un caudal de diseño (en litros por segundo) necesario para cubrir las necesidades de agua de una población en el periodo de diseño del acueducto. La Figura 11 muestra un esquema con las etapas necesarias para llegar a dicho cálculo. Inicialmente se debe estimar un consumo doméstico y un consumo no doméstico para obtener un consumo neto, este consumo se incrementa a partir de un porcentaje de pérdidas en el sistema y se obtiene un consumo total. A partir del consumo total y conociendo la población proyectada en el periodo de diseño se obtienen los caudales de diseño. El resultado del consumo total multiplicado por la población proyectada corresponde al caudal promedio diario. Al multiplicar dicho caudal por factores de variación de consumo, se obtiene el caudal máximo diario y el caudal máximo horario.

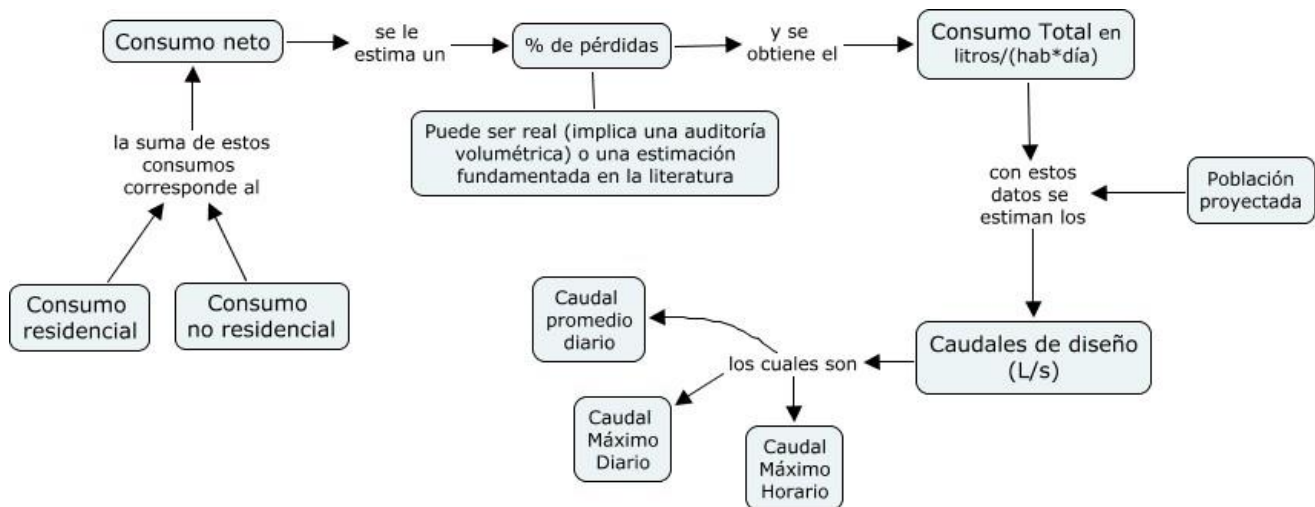


Figura 11. Esquema de la metodología López. Basado en: (López, 2003)

El consumo doméstico se estimó a partir de un año de registros históricos de consumo de 54 usuarios que contaban con micro medición al momento de recopilar la información. Los detalles de este procedimiento pueden consultarse en el Apéndice 3.

Para estimar el consumo no residencial se realizó un catastro de comercios, edificios institucionales y sitios de alojamiento en toda el área que abarca la red de distribución del acueducto. Seguidamente se asignó a cada usuario un consumo diario en litros por día de acuerdo con varios criterios propuestos, los cuales pueden consultarse en el Apéndice 4.

Se asumió un porcentaje de pérdidas del 40% a partir de los siguientes criterios: López (2003) afirma que en un sistema con baja capacidad técnica y económica el porcentaje de pérdidas máximo ronda el 40%. A su vez el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento de Colombia indica que para un sistema con un nivel de complejidad bajo (población abastecida menor a 2500 personas y baja capacidad económica de los usuarios), el porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta es del 40% (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Por otro lado, la Guía para el Diseño de Acueductos Rurales del AyA menciona que cuando se conocen los datos reales de consumo por casa, se le debe agregar como mínimo un 25% por concepto de agua no contabilizada.

A partir de información específica de la comunidad de Agujitas, correspondiente a los censos nacionales de 1984, 2000 y 2011, proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)^c, se realizaron proyecciones de crecimiento poblacional utilizando tres métodos distintos: lineal,

^c La información censal se obtuvo directamente mediante solicitud al INEC por lo que no consta en una publicación. Dicha información puede consultarse en el Anexo 4.

geométrico y logarítmico según recomienda el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Además se hizo una proyección con el promedio de los tres métodos y un ajuste de curva de función exponencial, la cual se ajusta a comunidades que se expanden rápidamente sin restricciones significativas a su crecimiento (que puedan preverse) en el periodo de proyección (Davis, 1995). La proyección se realizó para un periodo de 20 años, según recomienda la guía “Criterios para el diseño de acueductos rurales” del AyA, sin embargo se proyectó y graficó a 30 años para observar las tendencias de crecimiento poblacional en un rango mayor de tiempo. Con dichas proyecciones y el consumo total, se estimaron las necesidades futuras de agua. En ellas se tomó en cuenta además las tendencias en el crecimiento turístico de la región, basado en las visitas al Parque Nacional Corcovado y la Reserva Biológica Isla del Caño, para estimar el aumento en la capacidad de hospedaje de Agujitas. También se consideró aspectos de ordenamiento territorial con base en el Plan Regulador del Cantón de Osa.

2.7.2. Metodología Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2011).

El procedimiento general de esta metodología se muestra en la Figura 12. Inicialmente se realiza un conteo de casas y una estimación de casas equivalentes, las cuales se suman y se multiplican por un factor de hacinamiento de cinco personas por casa para obtener la población actual. Se calcula un factor de crecimiento y con base en el periodo de diseño se calcula una población de diseño. A partir de dicha población y una dotación definida (puede tomarse de una referencia o utilizarse históricos de consumo) se calculan los caudales de diseño.

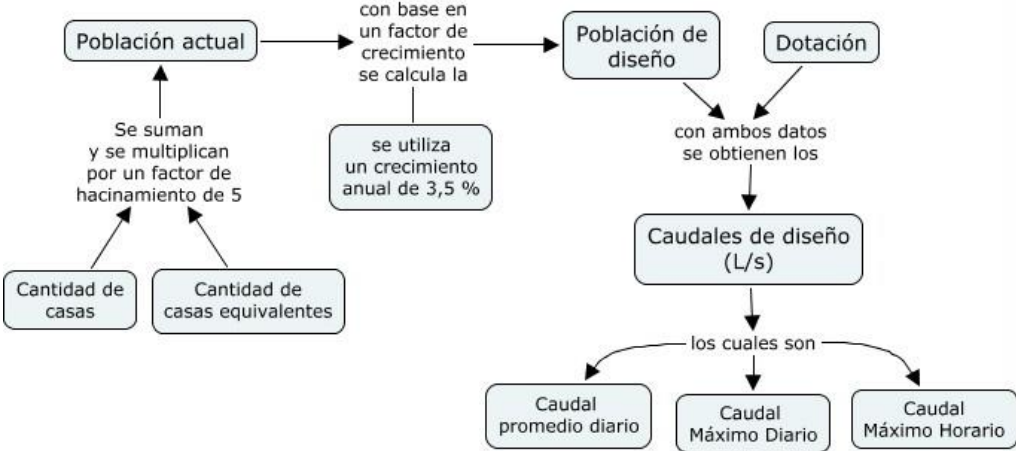


Figura 12. Esquema general de la metodología del AyA. Basado en: (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)

La población actual se estimó con base en la cantidad de casas contabilizadas. La cantidad de casas equivalentes se obtuvo a partir del conteo o catastro de todos los comercios, hoteles o edificios institucionales dentro del área que abarca la red de distribución. El procedimiento para “transformar” dichos comercios y demás establecimientos en casas equivalentes se detalla en el Apéndice 4.

El total de casas se multiplicó por un factor de hacinamiento de cinco para obtener una población inicial, la cual se proyectó en el periodo de diseño (se estableció un crecimiento anual promedio de 3,5% según indica la Guía). Los caudales de diseño se calcularon con la dotación estimada a partir de los registros históricos de consumo, obtenida con la metodología López (2003). Dicha dotación se incrementó con un porcentaje de pérdidas o agua no contabilizada de 40% (mismo porcentaje de la metodología anterior).

2.8. Escenarios futuros de disponibilidad de agua

Se plantearon escenarios de disponibilidad de recurso hídrico a partir de la demanda proyectada con ambas metodologías (López y AyA) y la información disponible de producción de agua en las fuentes (balance oferta-demanda). Los datos de producción se basaron en los aforos realizados el 19 de marzo de 2013 en las fuentes Petrona y La Gringa, y se asumieron los siguientes supuestos:

- ✓ El caudal disponible en las fuentes es de 13,21 Litros por segundo^d, que corresponde a la suma de ambos aforos menos un 10% correspondiente al caudal ambiental, de acuerdo con los criterios de la Dirección de Agua del MINAE.
- ✓ El caudal disponible no disminuye en el periodo proyectado.
- ✓ Ambos caudales (Petrona y La Gringa) son conducidos a la eventual planta de tratamiento y de allí al almacenamiento.

Se hicieron gráficos mostrando las proyecciones de demanda de agua y el caudal en las fuentes para determinar si habría escasez y en qué momento se daría.

^d Es importante mencionar que este caudal considera que se capte el 90% del caudal en La Gringa, sin embargo, la nueva captación fue construida en un punto donde solo se capta alrededor de un 60% del caudal, esto pues el aforo se realizó en dos quebradas que se unen para formar la quebrada La Gringa y fue reportado como la suma de ambos.

2.9. Limitaciones

Dada la lejanía y dificultad de acceso al área de estudio algunos datos para la aplicación de la metodología estandarizada SERSA se tomaron en tiempos distintos; por ejemplo el estado de la infraestructura cambió considerablemente entre octubre de 2013 y abril de 2014, pues en la última gira se constató que la captación de La Gringa se había reubicado y se había instalado un tramo adicional de tubería, no obstante dichos cambios se tomaron en cuenta en la metodología de evaluación.

No se contó con levantamientos topográficos para el análisis de la infraestructura. Debido a esto se pretendió obtener información preliminar de altitudes mediante equipo de GPS, sin embargo debido a problemas con el aparato durante la última gira, no se pudo calcular un estimado de la altitud corregida en todos los puntos georreferenciados.

Cuando se realizó la selección aleatoria de la muestra a encuestar, se obtuvo una lista de abonados, sin embargo no en todos los casos se encontraba alguien en la vivienda cuando se realizó encuesta. El criterio aplicado fue entrevistar la casa más cercana, ya sea a un costado o al frente.

El aforo volumétrico de los caudales captados no pudo realizarse como se planificó pues en los puntos que se definieron para realizar dichos aforos (válvulas de purga más cercanas a cada captación) la presión era muy alta y por lo tanto fue prácticamente imposible realizar las mediciones. Debido a que no se contaba con herramientas o equipos para hacer las mediciones por otro método, solo pudo realizarse un aforo en la captación La Gringa

No pudo obtenerse una mayor serie de datos para caracterizar las fuentes de agua dada la lejanía y difícil acceso del área de estudio. Sin embargo, se recopilaron datos del agua en los dos escenarios, época seca y época lluviosa. Por otro lado, también pudo tomarse una muestra correspondiente a un escenario crítico (15 de abril de 2014) luego de fuertes lluvias. A pesar no ser un muestreo continuo, acorde con la metodología del AyA, es un indicador que permite tener una idea de las variaciones de la turbiedad que pueden ser esperables en dicho escenario.

No se midió oxígeno disuelto en la fuente Petrona debido a problemas con el equipo portátil por lo que no se pudo calcular el índice de calidad de agua en esa fuente.

El índice de calidad de agua que inicialmente se pretendía calcular era el índice ICA-UCA desarrollado en Colombia, sin embargo no fue posible obtener curvas de normalización para los parámetros de color y sólidos suspendidos, por lo tanto se optó por calcular un ICA-NSF modificado, utilizando nitrógeno total y fósforo total en lugar de nitratos y fosfatos (claro está con curvas de normalización correspondientes a nitrógeno total y fósforo total).

El cálculo o estimación del consumo promedio para algunos usuarios no residenciales, no se pudo realizar del mismo modo que se hizo con el consumo residencial debido a que la bitácora de la ASADA donde se registran los consumos de los abonados no se encuentra desagregada por tipo de usuario. Por lo tanto se debió recurrir a la asignación de consumos con por criterios.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DIAGNÓSTICO DEL ACUEDUCTO

3.1.1. Estado de las obras de captación

El acueducto utiliza tres captaciones de agua superficial (correspondiente a quebradas) denominadas Don Carmen, Petrona y La Gringa. La ubicación de las captaciones o tomas La Gringa y Petrona pueden visualizarse en la Figura 9. La utilización de las fuentes varía dependiendo de la época. Durante la época lluviosa el acueducto se abastece de Petrona y Don Carmen, y se prescinde de La Gringa (la cual requiere de bombeo parcial). En la época seca, la fuente Don Carmen presenta caudales muy bajos o incluso llega a secarse por lo tanto se utilizan las fuentes Petrona y La Gringa.



Figura 13. Captación La Gringa, se observa una represa de concreto colado en sitio; tubería sumergida cubierta con cedazo plástico. Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Captación Petrona, represa hecha con bloques de concreto, tubería sumergida. Fuente: Elaboración propia.

Las captaciones inspeccionadas fueron Petrona y La Gringa, las cuales se ubican en terrenos privados al este y al sureste del pueblo, en un área correspondiente a bosque tropical muy húmedo basal. El acceso a ellas es solamente a pie por senderos y/o atravesando quebradas con recorridos de aproximadamente una hora. Las tomas propiamente son represas artesanales con una tubería cubierta con cedazo para evitar el ingreso de hojas u otros objetos. Ambas represas están construidas en concreto sobre roca, la toma Petrona en mampostería y La Gringa colada en sitio (Figura 13 y Figura 14).

Según se observa en la Figura 15, la fuente Petrona se ubica una zona denominada “Zona llana de intervención moderada” en la cual, según el Plan Regulador Costero del Cantón de Osa (Municipalidad de Osa, s.f.), se permite una amplia gama de actividades entre ellas la agropecuaria. A pesar de que en el área inmediata a la captación hay muy poca intervención y no se observan actividades humanas o asentamientos, a unos 10-15 minutos descendiendo hacia el pueblo, se observaron evidencias claras de intervención humana, que parecen ser con fines agrícolas, situación que deberá ser analizada con cuidado en caso de que haya una futura expansión que pudiera vulnerar la fuente de agua (Figura 16).

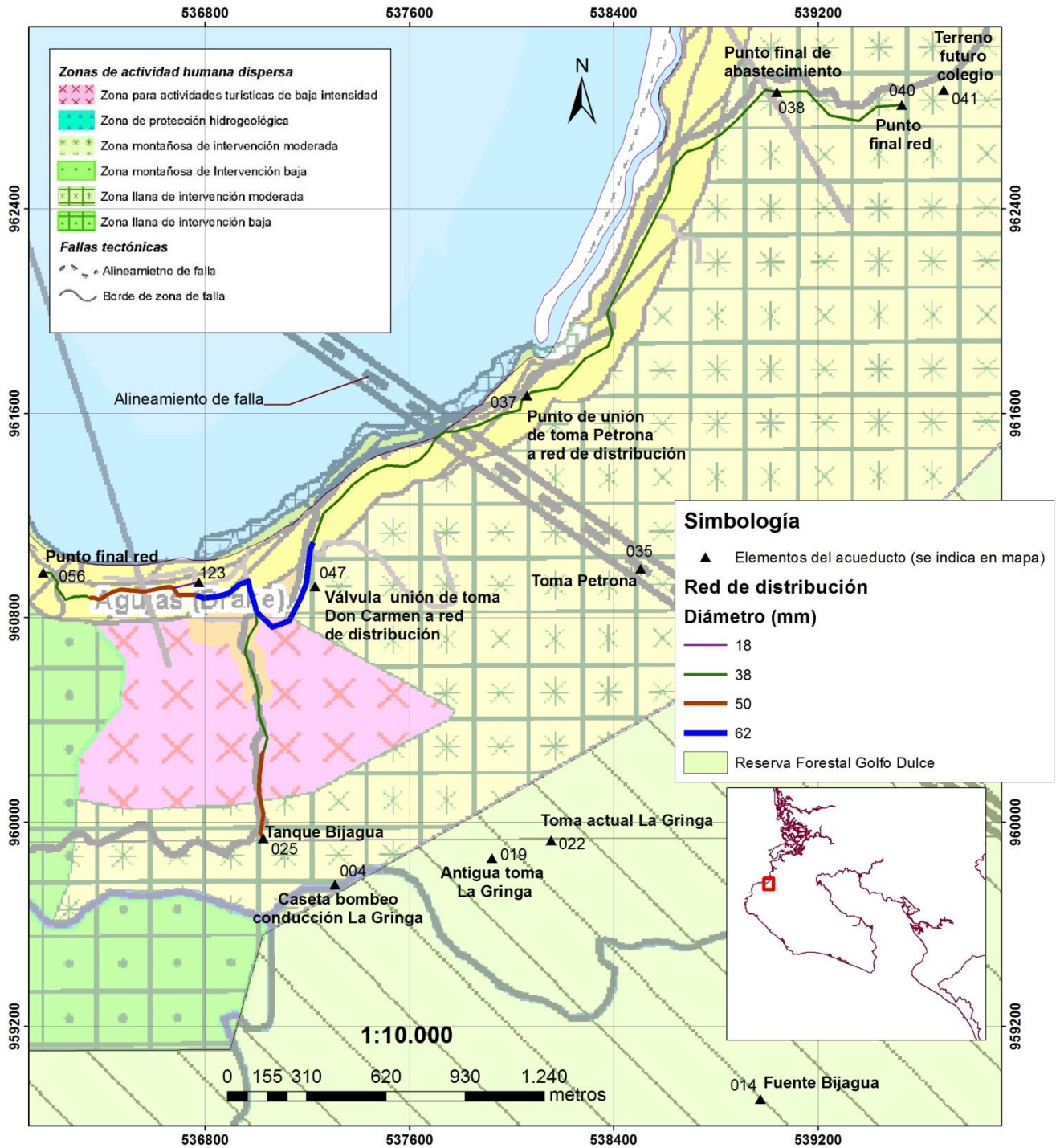


Figura 15. Ubicación de los distintos elementos del acueducto. Se observa además las áreas definidas en la zonificación del Plan Regulador Costero del Cantón de Osa. Fuente: (Municipalidad de Osa, s.f.); (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008).



Figura 16. Zona deforestada camino a la captación Petrona. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, según el mapa de zonificación, la captación se ubica en una falla tectónica, lo cual supone un mayor riesgo sobre la infraestructura y por lo tanto sobre el abastecimiento de agua del sistema ante un eventual desastre.

La captación La Gringa (tanto la toma antigua como la actual) se ubica en terrenos correspondientes a la Reserva Forestal del Golfo Dulce (Figura 15), la cual forma parte del Área de Conservación de Osa. Dicha área silvestre protegida se encuentra regida por el Reglamento para la Protección y Aprovechamiento de las Reservas Forestales y la Ley Forestal. Según el artículo 19 de la Ley Forestal (*Ley Forestal*, 1996), no se permiten cambios en el uso de suelo, pero se permiten proyectos de infraestructura siempre que sean de conveniencia nacional. Asimismo, se establecen áreas de protección de 15 m a ambos lados de las riberas de ríos, quebradas o arroyos, para zonas rurales. No se observaron actividades humanas ni modificaciones en el uso de suelo en el área circundante a la captación; es de esperarse que dado el régimen especial del área donde se ubica esta captación, no se presenten situaciones que vulneren la fuente de agua, o al menos la probabilidad sea menor.

3.1.2. Estado de las obras de conducción

Las conducciones correspondientes a las tomas La Gringa y Petrona consisten en tubería de PVC instalada de forma superficial. Atraviesan senderos boscosos y pasan sobre cursos de agua. Muchos de los tramos se encuentran instalados en la margen de las quebradas, sujetos mediante alambres y/o cuerdas (Figura 17).

Debido a la dificultad de recorrer la tubería en muchos tramos (pasos aéreos, etc.) no pudo realizarse un levantamiento por medio de GPS para conocer las longitudes aproximadas, sin embargo se consultó con el fontanero de la ASADA los diámetros de dichas conducciones, los cuales se muestran en el Cuadro 11. Se observa que en ambas conducciones los diámetros de la tubería se reducen paulatinamente, sin embargo no se cuenta con planos para corroborar si dicha configuración es la más adecuada o eficiente hidráulicamente.

Cuadro 11. Diámetros utilizados en las conducciones del sistema. Fuente: ASADA de Bahía Drake.

Conducción	Descripción	Material
Petrona	Inicia en 100 mm (aprox. 36 m), luego en 75 mm (aprox. 50 m) y continúa en 62 mm hasta la red de distribución	PVC
La Gringa	Inicia en 150 mm, se reduce a 100 mm, luego un tramo corto de 75 mm (aprox. 20 m), se reduce a 62 mm (aprox. 200 m) y finaliza en 50 mm (hasta la caseta de bombeo y de allí al tanque de almacenamiento).	PVC

Ambas conducciones presentan numerosas fugas que son reparadas de forma artesanal mediante la inserción de pequeñas estacas (hechas de ramas). Tienen pocos accesorios instalados, entre ellos algunas válvulas de globo, válvulas de purga y válvulas para expulsión de aire (manuales), sin embargo no están instaladas sistemáticamente^e. Según la ASADA, la tubería ha sufrido actos de vandalismo que han provocado la interrupción del flujo de agua. En ese sentido, se observó que existen tramos importantes en los que la tubería podría enterrarse para efectos de protegerla de personas, animales, etc. (Figura 18). También han ocurrido deslizamientos de tierra en taludes que han roto las conducciones, sin embargo no se lleva registro de estos eventos. Durante las visitas se observó en general muchas situaciones de peligro que vulneran las tuberías de conducción.

La conducción de la fuente Petrona pasa en muchos tramos por la margen de la quebrada (sujeta solamente con alambre galvanizado), se observó además que en varios sectores troncos y ramas habían caído sobre la tubería (Figura 19) lo cual implica un riesgo muy alto. En la conducción de La Gringa no se observó esta situación sin embargo se presentan otras situaciones de alto riesgo como pasos artesanales sobre quebradas utilizando troncos (Figura 20) o tramos aéreos pobremente anclados como por ejemplo el tramo final de tubería entre la caseta de bombeo y el Tanque Bijagua, el cual cruza innecesariamente sobre un derecho de vía, expuesto a peligros potenciales como caída de ramas (Figura 21).

^e No en todos los puntos altos de la conducción se encuentran instaladas válvulas de aire, tampoco existen válvulas de purga o limpieza en todos los puntos bajos de la línea según recomendaciones del AyA descritas en la guía “Criterios para el diseño de acueductos rurales”(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)



Figura 17. Conducción Petrona; tramo al margen de la quebrada justo después de la toma. Se observa una fuga a la derecha.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 18. Conducción La Gringa, tramo por sendero; no se observa un suelo rocoso por lo que sería factible enterrar la tubería. Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Ramas caídas sobre tramo de la conducción de la fuente Petrona. Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Conducción La Gringa, paso sobre la quebrada sostenido de forma artesanal por medio de troncos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 21. Tramo aéreo conducción La Gringa, antes de llegar al Tanque Bijagua. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la estimación de las pérdidas en la conducción La Gringa, los resultados de los aforos se muestran en el Cuadro 12. Los datos sugieren que en la conducción de la fuente La Gringa hay pérdidas cercanas al 66,88%. Pérdidas tan altas evidencian la necesidad de realizar un diseño hidráulico de la conducción que permita transportar de manera eficiente el agua, para lo cual evidentemente se requiere realizar un levantamiento topográfico. A corto plazo podría mitigarse esta situación mediante la reparación de las numerosas fugas que tiene la tubería.

Cuadro 12. Aforos volumétricos realizados la conducción La Gringa.

Punto de medición	Caudal aprox. (L/s)	Fecha de aforo
Captación La Gringa	6,31	15/04/2014
Tanque PEAD	2,09	16/04/2014

3.1.3. Estado del almacenamiento

El acueducto cuenta con dos tanques, ambos alimentados por la toma La Gringa. El primer tanque consiste en un tanque de poli etileno de alta densidad (PEAD) con un volumen de 5000 L que recibe inicialmente el agua por gravedad (funciona como pozo húmedo o cárcamo). De allí el agua es impulsada mediante una bomba (Figura 22) de 5 HP hacia un segundo tanque de concreto de 67,2 m³ aprox. (Tanque Bijagua) (Figura 23). La utilización del bombeo fue un medio al que la ASADA recurrió debido a que la presión en la conducción no era suficiente para llegar por gravedad hasta el tanque Bijagua. Recientemente (en el primer trimestre de 2014) se reubicó la toma de La Gringa en un punto a mayor altitud con la idea de poder prescindir de la bomba al ganar carga hidráulica, sin embargo la conducción fue construida de forma artesanal y no se cuenta con un levantamiento topográfico que permita realizar un diseño hidráulico adecuado y eficiente de la misma.

Otra dificultad en la operación diaria del acueducto es que el bombeo de agua hasta el tanque se realiza de forma manual. La ASADA tiene un acuerdo con una familia que reside cerca de la caseta de bombeo para que en las mañanas encienda la bomba hasta llenar el tanque. Mientras tanto el tanque de PEAD recibe un caudal de aproximadamente 2,09 L/s que rebosa constantemente. Dicho caudal de rebose es captado parcialmente por un tubo de PVC de 62 mm y conducido pocos metros abajo a caer sobre el suelo, el resto del caudal corresponde a una fuga entre la conexión del tanque de PEAD y dicho tubo de rebose. Ambas situaciones generan erosión que puede socavar el suelo, lo cual es particularmente peligroso en el caso de la fuga del tanque de PEAD, pues el mismo se encuentra apoyado en una pequeña terraza en un talud con pendiente pronunciada.

El tanque Bijagua por su parte, según menciona el fontanero de la ASADA, solamente se había estado utilizando durante la época seca. Durante la visita se tomaron las siguientes observaciones: el tanque carece de protección o malla perimetral por lo que personas o animales pueden tener acceso al mismo (Figura 23). El exterior del tanque requiere mantenimiento pues no se ha pintado y se encuentra cubierto de vegetación (musgo). La tapa de inspección, fabricada en fibra de vidrio carecía de candado. El interior del tanque se encontraba pintado pero con signos de deterioro y necesidad de mantenimiento (Figura 24), su superficie debe acondicionarse según criterios técnicos, por ejemplo con concreto lujado (Daniel Figueroa, comunicación personal, mayo de 2014). El tanque no tenía instalada una tubería de ventilación.

Durante la gira realizada en abril de 2014, se constató que se había instalado un clorador de hipoclorito de calcio, sin embargo carecía de una caseta de protección y simplemente fue instalado sobre la losa del tanque (Figura 25).



Figura 22. Caseta de bombeo.



Figura 23. Tanque Bijagua. Construido con bloques de concreto, no se encuentra pintado ni resguardado con malla perimetral. Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. El tanque se encontraba vacío al momento de la visita. La superficie de su interior debe acondicionarse según criterios técnicos (por ejemplo superficie de concreto lujado).



Figura 25. Clorador de hipoclorito de calcio instalado sobre la losa del tanque.
Fuente: Elaboración propia.

Las tomas Petrona y Don Carmen no tienen almacenamiento y sus conducciones se encuentran conectadas directamente a la red de distribución; dichos puntos se observan en la Figura 9 (puntos 037 y 047 respectivamente). Al parecer esta situación beneficia a los usuarios ubicados cerca de dichas conexiones en cuanto a presión de servicio y continuidad (ver sección 3.2), sin embargo probablemente experimentan variaciones más notables en la calidad del agua durante periodos de lluvia, esto pues el almacenamiento puede actuar como un tipo de sedimentador, amortiguando en cierto grado las altas cargas de sólidos suspendidos y sedimentos.

3.1.4. Estado de la red de distribución

A partir del levantamiento realizado mediante GPS se trazó la tubería principal de la red de distribución (Figura 9) y se obtuvieron longitudes aproximadas de tubería, las cuales se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Longitudes aproximadas de la tubería principal de la red de distribución de agua potable.

Diámetro nominal (mm)	Longitud aproximada (m)	Material
18	104	PVC
38	4155	
50	7901	
62	829	
Total	5880	

Una de las características más notorias y que pone en riesgo el abastecimiento de agua corresponde a los tramos de tubería que pasan sobre quebradas. Por ejemplo, el tramo saliendo de Agujitas hacia el noreste (aproximadamente 3324,03 m de tubería de 38 mm) pasa por varios ríos o quebradas (Figura 26), sin embargo no cuenta con estructuras de soporte seguras, que se encuentren ancladas a los extremos para proteger la tubería de deflexiones excesivas o ante eventuales crecidas de las fuentes que puedan dañarlas (Quesada, 2013). Es requerido además, que las tuberías estén protegidas del sol con algún recubrimiento pues la radiación ultra violeta desintegra el PVC paulatinamente reduciendo su vida útil (Quesada, 2013). En ese mismo tramo, cerca del punto final del abastecimiento, se observan también situaciones de riesgo como tuberías suspendidas en terrenos inestables (Figura 27).



Figura 26. Tubería sin estructura de soporte ni anclajes a los extremos; vulnerable especialmente en época lluviosa. Fuente: Elaboración propia.



Figura 27. Tramos de tubería suspendidos en terrenos inestables, propensos a deslizamiento. Fuente: Elaboración propia

Para efectos del presente trabajo, no se hizo un catastro de válvulas y otros accesorios en la red de distribución de agua, sin embargo cabe mencionar la necesidad de instalar válvulas de control a lo largo de la red para facilitar trabajos de reparación y también para poder hacer un manejo o control de altas presiones.

3.1.5. Metodología estandarizada SERSA del Ministerio de Salud

Mediante la metodología estandarizada SERSA descrita en la sección 2.3.1, se obtuvo el resultado mostrado en el Cuadro 14. Las listas de chequeo pueden consultarse en el Apéndice 7.

Cuadro 14. Resultados de evaluación del acueducto basado en metodología SERSA del Ministerio de Salud.

Elemento a evaluar	Nivel de riesgo identificado ^a	Acciones para disminuir factor de riesgo	Comentarios
Toma (Fuente “Petrona”)	Riesgo Alto	Solicitar intervención de AyA con apoyo técnico del Nivel Regional y Central para supervisión de acuerdos. Movilización de actores sociales con representantes comunales, Elaborar plan de emergencia y advertir y educar a la comunidad sobre los riesgos. Plazo de 3 meses para obtener evidencia de mejoras	La lista de chequeo considera tomas con rejilla, sin embargo la ASADA no tiene este tipo de infraestructura.
Toma (Fuente “La Gringa”)	Riesgo Alto		
Tanque de almacenamiento (“Tanque Bijagua”)	Riesgo Alto	Solicitar intervención de AyA con apoyo técnico del Nivel Regional y Central para supervisión de acuerdos. Movilización de actores sociales con representantes comunales, Elaborar plan de acciones correctivas. Plazo de 6 meses para obtener evidencia de mejoras	Al momento de la inspección recientemente se había instalado un clorador de hipoclorito de calcio (pastillas) sobre la losa de concreto del tanque. Se adolece de seguridad para el tanque así como para el sistema de cloración.

Continuación Cuadro 14.

Elemento a evaluar	Nivel de riesgo identificado ^a	Acciones para disminuir factor de riesgo	Comentarios
Línea de conducción y sistema de distribución	Riesgo Alto	Revisar si los factores de riesgo identificados son críticos (preguntas 1, 4, 6 y 7). Solicitar intervención de AyA con apoyo técnico del Nivel Regional y Central para supervisión de acuerdos. Plazo de 3 meses para obtener evidencia de mejoras en riesgos críticos	Al momento de la inspección, no se estaba clorando el agua.

a. Significado: 0 riesgo nulo, de 1 a 2 Riesgo bajo, de 3 a 4 Riesgo intermedio, de 5 a 7 Riesgo alto y de 8 a 10 riesgo muy alto

Como se observa en el Cuadro 14, todos los rubros evaluados tuvieron un nivel de riesgo identificado Alto, lo cual, hasta cierto punto era un resultado esperable a partir de las inspecciones visuales que se realizaron. Las acciones para disminuir el riesgo sugeridas por la metodología son genéricas y se limitan a solicitar intervención del AyA e imponen plazos de tres a seis meses para evidenciar mejoras. En ese sentido, es evidente que esta metodología de evaluación está diseñada para acueductos en los cuales se asume que existen una serie de obras de infraestructura básica como bocatomas con rejilla, desarenadores, tanques quiebra gradientes, tanques de contacto (cloración). En la sección 3.7 se presentan algunas propuestas orientadas al mejoramiento de estas situaciones de riesgo identificadas.

3.1.6. Instrumento de caracterización de ASADAs del AyA

La aplicación de este instrumento dio el resultado presentado en el Cuadro 15, obteniendo una calificación final de 44,8%, lo cual clasifica a la ASADA de Bahía Drake como Frágil. El formulario completo puede consultarse en el Apéndice 7.

Cuadro 15. Resultado de la aplicación del instrumento para caracterización de ASADAs del AyA.

Parámetro	Peso asignado (%)	Porcentaje obtenido	Calificación parcial (de 0 a 100) ^a
Gestión organizacional	10%	9,3%	93
Gestión Administrativa y Comercial	30%	20,9%	69,7
Gestión en Operación y Mantenimiento	40%	9%	22,5
Gestión Ambiental	13%	3%	23,1
Gestión de riesgo	7%	2,6%	37,1
Calificación final		44,8%	

a. ASADA A o Consolidada ($80 \leq i \leq 100$), ASADA B o en desarrollo ($60 \leq i < 80$) y ASADA C o frágil ($i < 60$).

Las áreas en las que la ASADA de Bahía Drake presenta mayor fragilidad en orden de prioridad son: Gestión en operación y mantenimiento, Gestión ambiental, Gestión de riesgo y Gestión

administrativa y comercial. Los resultados de esta evaluación confirman la gran vulnerabilidad del sistema, que es en general muy evidente a simple vista; demuestra además que el abastecimiento de agua a la comunidad parece ser resultado de un esfuerzo comunal que no ha contado con apoyo institucional de las autoridades competentes en el estado. Es notorio que las soluciones implementadas para cada elemento del sistema, desde la captación hasta la distribución son producto del ingenio de los miembros de la ASADA y en la mayoría de los casos carecen de un criterio técnico. En general es urgente el apoyo institucional para lograr un trabajo conjunto con la comunidad, que permita mejorar las condiciones de la ASADA. En ese sentido es vital como primer paso, la recopilación y generación de información, que es justamente lo que este trabajo pretende aportar.

3.2. ENCUESTA A USUARIOS DEL ACUEDUCTO

Como puede observarse en la Figura 9 (círculos amarillos), la elección aleatoria de los abonados del acueducto mostró una distribución homogénea en toda el área que abastece la ASADA.

El promedio de personas por vivienda fue de 3,42 personas, cifra que fue superior en casi una persona (0,83) con respecto a lo que indica el Censo 2011 para el pueblo de Agujitas (2,59 personas por vivienda) (ver Anexo 4), lo cual es bastante aceptable considerando el tamaño de muestra utilizado.

Un 63% de las viviendas no contaba con una fuente alternativa para el abastecimiento de agua, mientras que un 32% mencionó que sí tenía una fuente alternativa (Figura 28). Las respuestas más frecuentes fueron captación de agua de lluvia (57%) seguido de agua embotellada (29%). Los encuestados que reportaron utilizar agua de lluvia mencionaron que la utilizan para actividades como lavado de ropa y aseo de la vivienda pero no para consumo propiamente. Esto demuestra claramente las limitaciones en la prestación de servicio, que obliga a los usuarios a abastecerse por otros medios, e incurrir en gastos adicionales, principalmente en el caso de quienes compran agua embotellada.

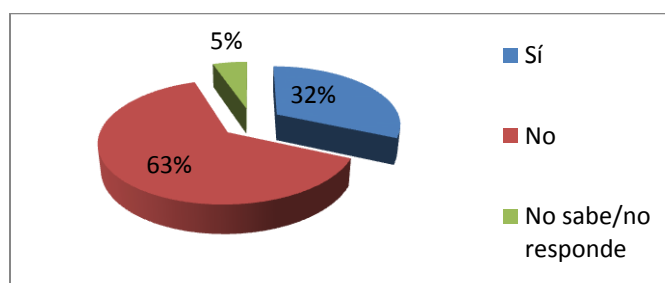


Figura 28. Uso de fuentes alternativas para el abastecimiento de agua.

Respecto a la cantidad de aparatos sanitarios por vivienda, el resultado se muestra en el Cuadro 16. La cantidad de aparatos sanitarios en una vivienda se relaciona con el consumo de agua en las

mismas, de tal forma que entre más aparatos haya, es probable que el consumo de agua aumente. Salvo unas pocas viviendas grandes la mayoría de las viviendas tenían pocos aparatos sanitarios.

Cuadro 16. Promedio de aparatos sanitarios por vivienda.

Aparato sanitario	Cantidad promedio por vivienda ^a	Cantidad más frecuente
Inodoro	2	1
Pilas, tubos o llaves de chorro	4	3
Duchas	1	1

a. Valores redondeados al entero más cercano.

En cuanto a la percepción de los abonados sobre la calidad, el 59% de los encuestados opinó que el agua sí tiene un buen sabor; de ellos el 30,8% mencionó que *siempre*, un 30,8% dijo que *la mayor parte del tiempo*, un 23,1% *en ocasiones* y un 7% que *pocas veces* (Figura 29). Un 33% de los encuestados aseguró que el agua no tenía un buen sabor.

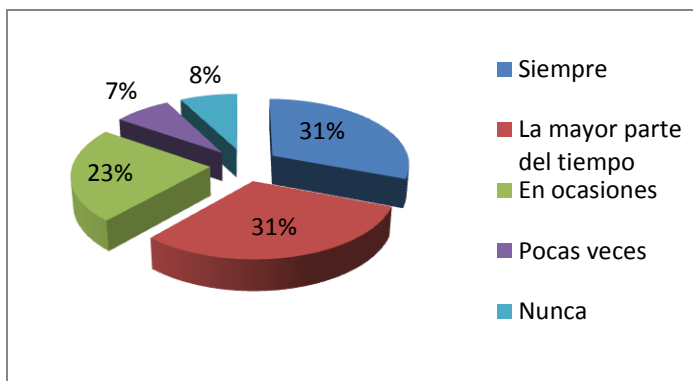


Figura 29. Frecuencia con la que los encuestados que el agua tiene buen sabor.

Respecto al olor, un 75% consideró que el agua no tiene olor y un 16,7% que el agua posee olor. De quienes dijeron que no tenía olor, el 42,1% indicó que *siempre*, un 21,1% *la mayor parte del tiempo* y un 15,8% *en ocasiones* (Figura 30).

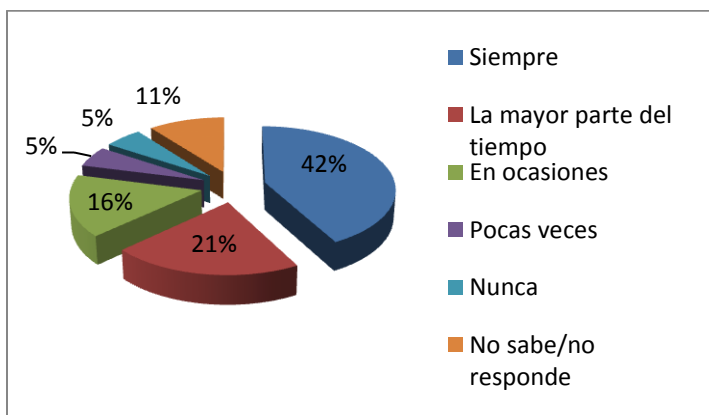


Figura 30. Frecuencia con que los encuestados perciben que el agua no tiene olor.

La opinión de los encuestados con respecto al olor y sabor del agua son similares, e indican problemas de calidad de un agua que no recibe tratamiento. Es importante mencionar que los resultados de una encuesta no deben tomarse como un hecho sino como un indicador, pues por ejemplo, al aplicar la encuesta se percibió descontento por parte de los encuestados, lo que podría causar que exageren o distorsionen la realidad en sus respuestas.

Un 91,7% de los encuestados indicó que el agua presenta turbiedad, de ellos el 86% dijo que esta característica predomina en la época lluviosa (Figura 31). Por otro lado, un 8,3% dijo que no identificaba esta característica.

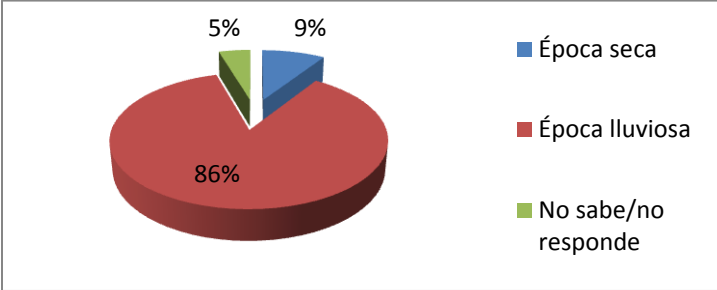


Figura 31. Periodos en que predomina la presencia de turbiedad en el agua.

Aguas turbias debido a material suspendido son esperables en aguas superficiales, principalmente durante la época lluviosa, y aunque de forma esporádica, pueden presentarse eventos de lluvia durante la época seca que también aumentan la turbiedad del agua. Esta es una característica predominante en el agua según opinan los encuestados.

El 75% de los abonados encuestados indicó presencia de sólidos, como fragmentos de hojas o similares, en el agua; un 21% dijo no haber identificado esta característica (Figura 32). Un 83% de quienes sí identificaron esta característica mencionó que predomina en época lluviosa, mientras que un 17% dijo que está presente siempre (en ambas épocas) (Figura 33).

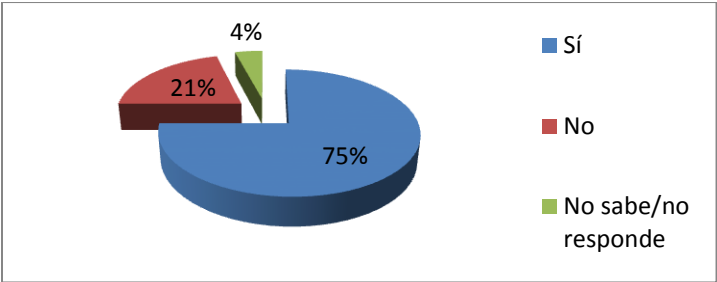


Figura 32. Encuestados que han identificado presencia de sólidos grandes como fragmentos de hojas o similares.

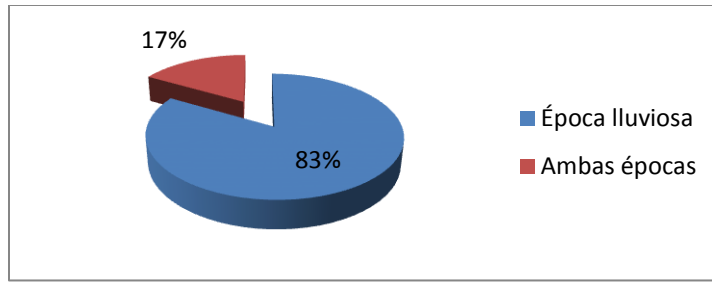


Figura 33. Periodos en que predomina la presencia de sólidos grandes según los encuestados.

La presencia de partículas sólidas o discretas podría tratarse con un desarenador o un sedimentador simple, eliminando esta característica aparentemente predominante en el agua.

En cuanto a la identificación de coloración en el agua, un 62% dijo que no la identificaba, contra un 25% que mencionó que sí la identificaba (Figura 34). De quienes indicaron que sí, el 83% dijo que esta situación predominaba en la *época lluviosa* y un 16,7% indicó que en *ambas épocas*.

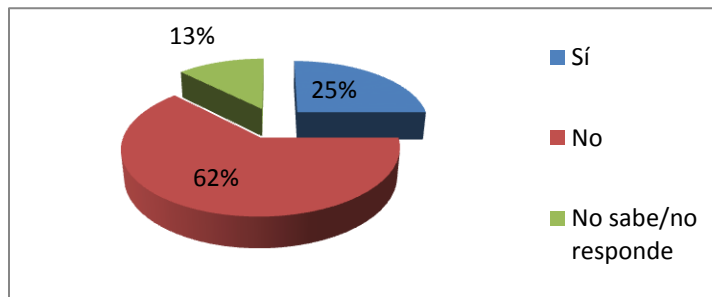


Figura 34. Encuestados que han identificado coloración en el agua.

Un 100% de los encuestados expresó identificar la presencia de sedimentos en el agua; un 88% mencionó que esta característica predominaba en la *época lluviosa* (Figura 35).

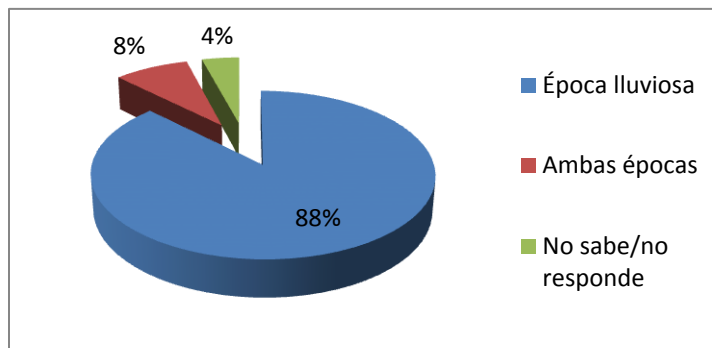


Figura 35. Periodos en que predomina la presencia de sedimentos según los encuestados.

Se consultó a los usuarios si identificaban alguna otra característica en el agua y entre quienes respondieron que sí (alrededor del 50%), con frecuencia se mencionó que habían encontrado uno o varios camarones.

Los resultados muestran que los principales problemas de calidad del agua perceptibles por los usuarios se asocian a la turbiedad y presencia de sedimentos, y en menor medida sólidos discretos. También es consistente la opinión de los usuarios de que estas condiciones predominan durante época lluviosa. En general, aguas turbias son rechazadas por los usuarios y pueden provocar que un proceso de desinfección química sea infectivo, aumentando el riesgo microbiológico. Por otro lado, los sedimentos pueden paulatinamente dañar los aparatos sanitarios o generar molestias debido a la necesidad de limpiarlos con frecuencia.

Respecto al tiempo en que los encuestados consideraron que el agua regresaba a su calidad usual, las respuestas fueron diversas, dependiendo de si había temporal o no. Las respuestas más frecuentes se agruparon en un rango de entre 2 y 4 horas después de que dejaba de llover, y se visualizaron en un mapa, observándose una distribución bastante homogénea en la red, a excepción de la parte baja que corresponde a los usuarios que se ubican frente a la playa (Figura 36). Es probable que mucho sedimento se acumule allí por ser un ramal terminal de la red de distribución, ubicado en la zona baja, y por lo tanto los usuarios de ese sector experimenten las peores condiciones de calidad de agua en cuanto a sedimentos y material suspendido.

Este es uno de los resultados más interesantes en cuanto a que podría dar insumos importantes para la operación de una futura planta de tratamiento. El tiempo en que la calidad del agua cruda se restablece a condiciones normales (para una fuente en particular) podría determinar el tiempo en que sea necesario por ejemplo, mantener cerrado el ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento (en caso de ser una planta FiME, para evitar colmatamiento prematuro de los filtros). También implica que se deban considerar aspectos de almacenamiento para evitar la interrupción en el servicio (suficiente volumen de almacenamiento para el tiempo en que la planta no está produciendo agua).

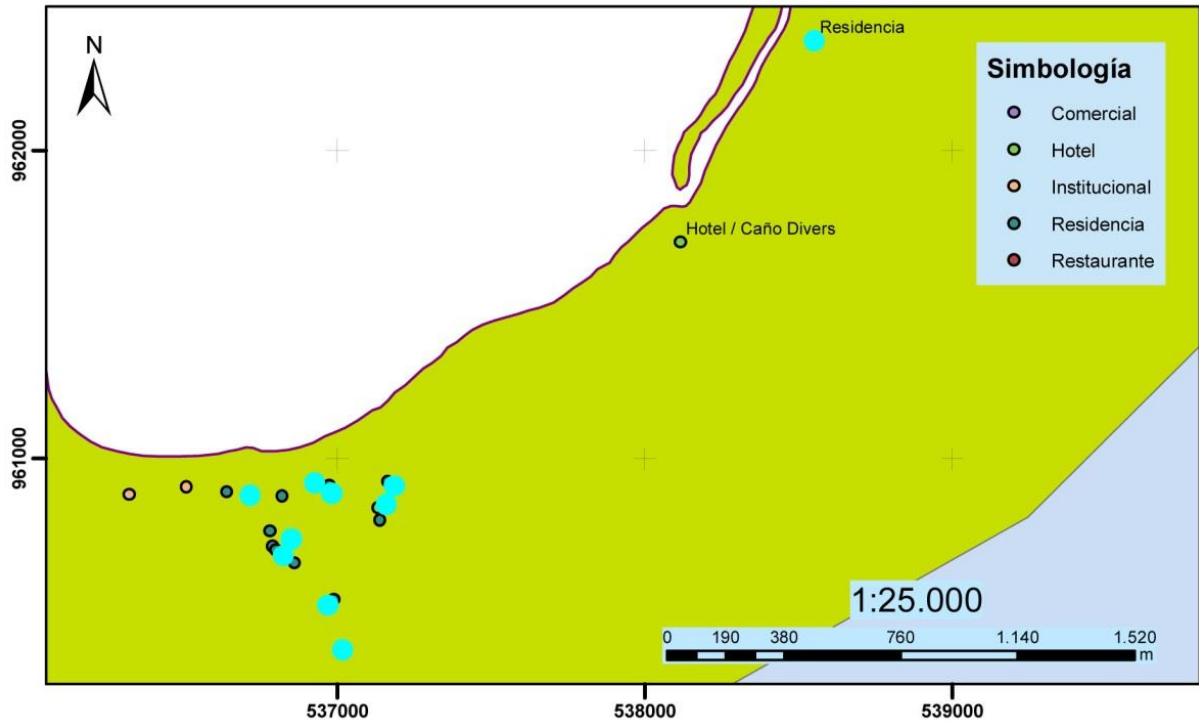


Figura 36. Los círculos celestes indican el grupo de encuestados que indicó que la calidad usual del agua tardaba entre 2 y 4 horas en restablecerse, luego de que amainaba la lluvia.

En relación a la percepción de los usuarios respecto al servicio, se consultó principalmente sobre la presión y/o la continuidad del servicio brindado. Un 71% respondió que la presión del agua *no es contante*, y un 21% que *sí* (Figura 37).

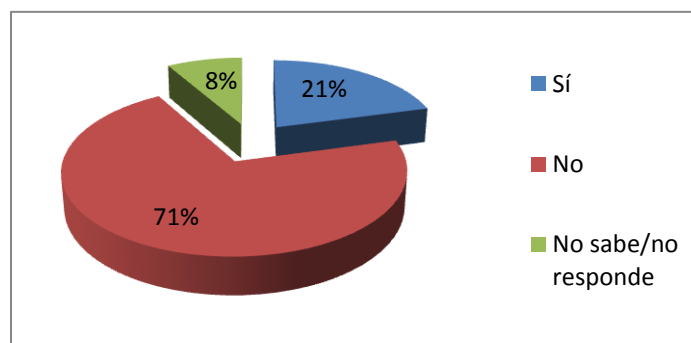


Figura 37. Encuestados que consideran que la presión del agua es constante.

Se tomaron los comentarios de los encuestados sobre la continuidad del servicio de agua y se agruparon en quejas similares. Se obtuvo un grupo grande de usuarios que aseguraban no tener agua durante prácticamente todo el día en la época seca. Dichos usuarios se ubican en una parte alta y media de la red de distribución (Figura 38). En general mencionaban que el servicio se restablecía en la tarde o

en la noche, o que hasta la madrugada podían llenar sus tanques, cuando las viviendas de la parte baja ya los habían llenado.

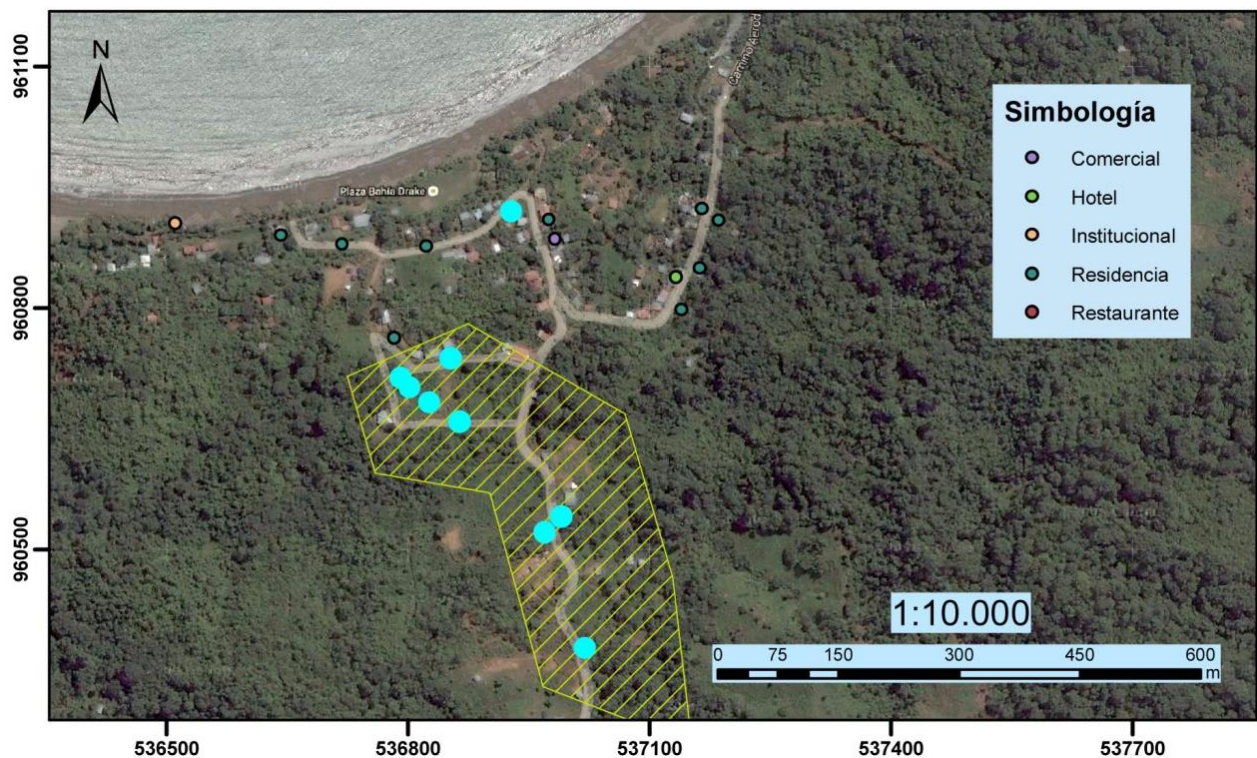


Figura 38. Grupo de encuestados (círculos celestes) que aseguraron no tener agua durante el día, en la época seca; el área resaltada con líneas comprende una parte alta y media de la red. Fuente de imagen: (Google Maps, 2014)

Otros comentarios un poco más heterogéneos fueron agrupados. Estos incluían opiniones como disminución en la presión del agua y otras quejas comunes, sin embargo, no incluían la interrupción frecuente del servicio durante el día. Dichos encuestados se muestran en la Figura 39, ubicados en una parte media y baja de la red.

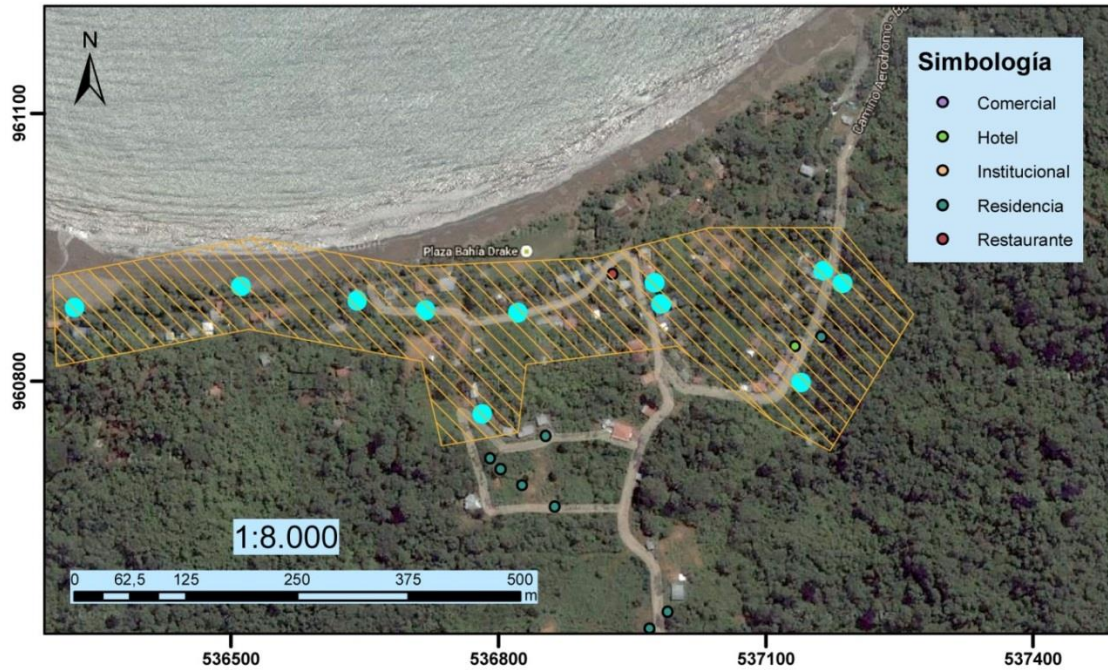


Figura 39. Usuarios (círculos celestes) que mencionaron quejas similares como *reducción en la presión* pero no reportaron interrupciones frecuentes durante el día. El área resaltada con líneas comprende una parte media y baja de la red. Fuente de imagen: (Google Maps, 2014)

Finalmente se agrupó un grupo pequeño de encuestados que reportaron no tener muchas fluctuaciones de presión, independientemente de la época. Dichos encuestados se ubicaban en la parte noreste del pueblo, sobre la vía que sale de Agujitas (Figura 40).

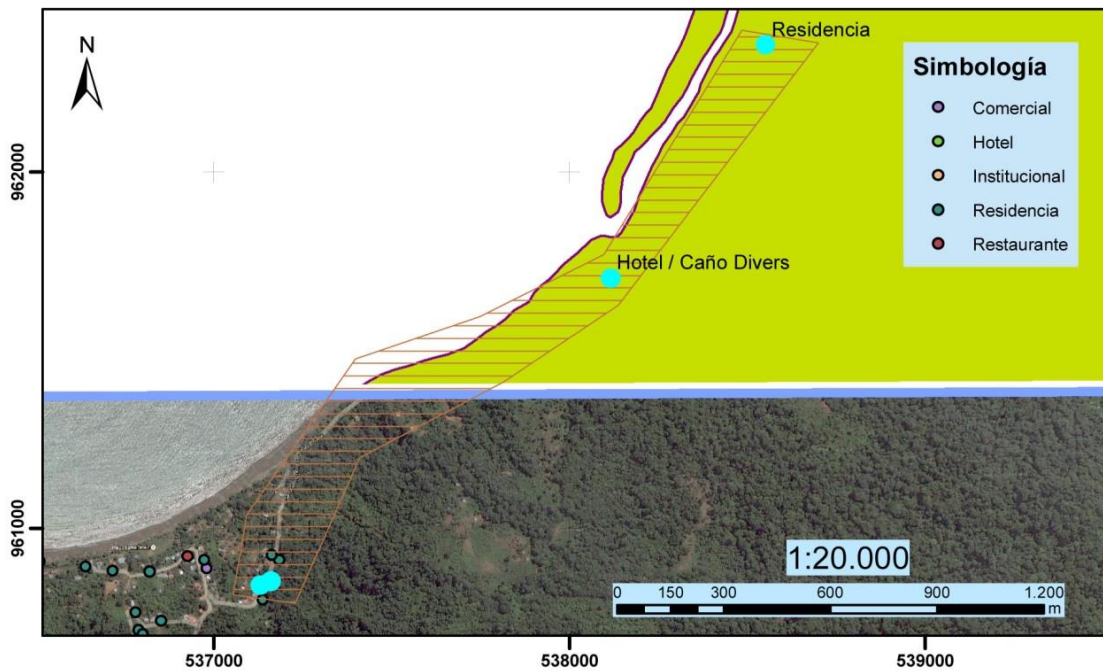


Figura 40. Usuarios encuestados (círculos celestes) que mencionaron tener buena presión siempre o poca fluctuación. Fuente de imagen: (Google Maps, 2014)

Esta sección de la encuesta también mostró resultados interesantes en cuanto a que hay diferencias claras en la opinión de los encuestados sobre la presión y continuidad del servicio, y de alguna manera dichas opiniones muestran una coincidencia espacial o de ubicación. Los usuarios que podrían estar siendo más afectados por falta de presión e interrupciones prolongadas en el servicio se ubican en la parte alta y media de la red; en ese sentido cabe señalar que abajo de ese sector (hacia la playa) se concentra la mayor cantidad de comercios, institucionales, hoteles y cabinas que demandan mucha agua durante el día y probablemente agotan el caudal de Petrona (situación que se ve agravada si el Tanque Bijagua se encuentra vacío).

En cuanto al grupo de encuestados que mencionaron no tener muchas fluctuaciones en la presión o la continuidad del servicio, estos se ubican en un tramo de la red de distribución de agua que tiene una conexión directa de la fuente Petrona, la cual inyecta agua constantemente a la tubería (salvo en caso de ruptura de la tubería de conducción) lo cual explicaría que en general tengan un servicio continuo.

Respecto a la tarifa que pagan los abonados del acueducto, un 50% dijo estar de acuerdo con la tarifa, un 21% que *no* y un 29% no sabía o no respondió (Figura 41). Entre quienes respondieron estar de acuerdo con la tarifa, las opiniones más frecuentes fueron que antes de tener medidor pagaban más de lo que pagaban actualmente (anteriormente había una tarifa fija). Las opiniones más frecuentes entre quienes dijeron no estar de acuerdo con la tarifa, fueron que el agua era muy cara para la mala calidad que tenía.

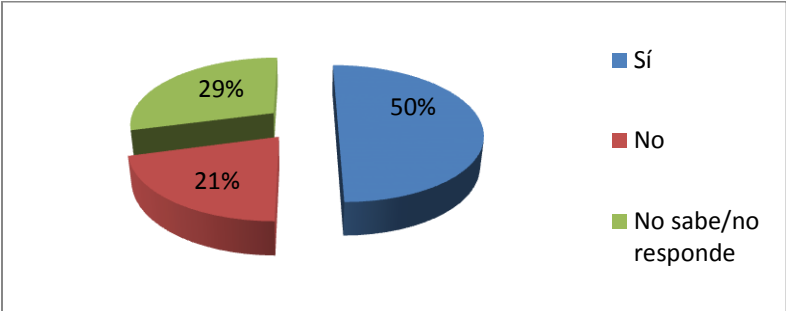


Figura 41. Usuarios que consideraron estar de acuerdo con la tarifa cobrada.

Se constató que el 75% de los encuestados que mencionó no estar de acuerdo con la tarifa se ubicaban en la parte baja de la red, frente a la playa, lo cual coincide con las opiniones de quienes dijeron que el agua tardaba más en recuperar su calidad, lo cual es consistente.

Por otro lado, la mayoría de los encuestados (39%) mencionó que contaban con medidor desde hacía menos de seis meses (Figura 42), pues al momento de aplicar la encuesta, la ASADA se encontraba ejecutando un proyecto para instalar micro medidores en todos los abonados, lo cual podría

explicar por qué muchos usuarios (cerca de un tercio) aún no saben si la tarifa medida les “beneficiará” o no.

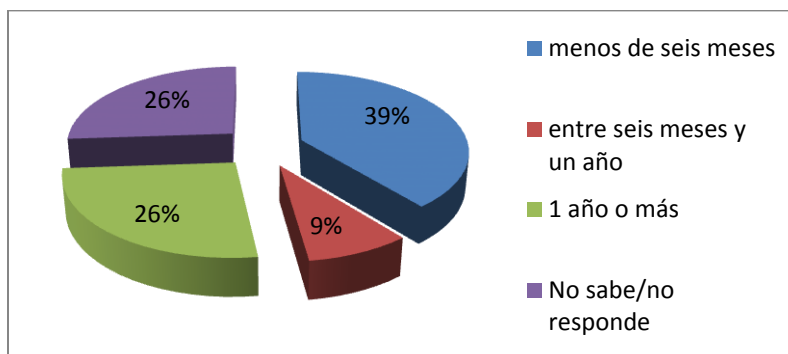


Figura 42. Tiempo que tenían los encuestados de tener medidor de agua.

3.3. CALIDAD DEL AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Los resultados para el muestreo realizado en octubre de 2013 se detallan en el Cuadro 17. Todos los puntos muestreados a excepción de la muestra tomada en “Panadería Delicias #2 (filtro)” presentaron contaminación fecal. Dicha muestra se tomó en la salida de un sistema de filtración de agua que utilizaba el comercio (para preparación de alimentos, etc.), y a la hora del muestreo se aprovechó para evaluar su efectividad. La concentración media de coliformes fecales en la red fue de 25 NMP/100 mL con una desviación estándar de 11, valor muy superior con respecto a lo normado por el Reglamento para la calidad del agua potable, en el Nivel primero de control, pues debe ser ausente (Cuadro 7). Esto implica que el agua no es potable y existe un riesgo microbiológico de contraer enfermedad si se consume.

Cuadro 17. Resultados de análisis de calidad de agua en la red de distribución para el muestreo de octubre de 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC (Anexo 1).

Punto de muestreo	Coliformes fecales (NMP/100 mL)
Residencia, parte media	13
Panadería Delicias #2 (filtro)	<1,8
Residencia, parte alta	33
Panadería Delicias #1	17
Residencia, parte baja	49
Casa Kinder (Nature kids)	17
EBAIS Drake	22
Escuela de Drake	23
Promedio	25
Desviación Estándar	11

Los resultados para el segundo muestreo realizado en noviembre de 2013 se resumen en el Cuadro 18. La ubicación de los usuarios encuestados donde se tomaron dichas muestras puede observarse en la Figura 9 (cuadrados rojos).

Cuadro 18. Resultados de análisis de calidad de agua en la red de distribución para el muestreo de noviembre de 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC (Anexo 2).

Punto de muestreo	Coliformes fecales (NMP/100 mL)
Residencia María Lara	17
Residencia Amada Rojas	23
Residencia Maritza Lozano	4,5
Residencia Porfirio Solórzano	49
Residencia Floribel Calvo	17
Residencia Karen Álvarez	4,5
Residencia Mauricio Amaya	14
Residencia Antonio Vega	7,8
Residencia Sebastián Zúñiga	70
Soda/Restaurante Emiliano Cambronero	46
Promedio	28
Desviación Estándar	21

Según se observa en este resultado, todas las muestras presentaron contaminación fecal. La muestra correspondiente a la residencia de “Maritza Lozano” se tomó de un sistema de filtración utilizado en la vivienda (filtro para sedimentos y filtro de carbón activado), y mostró uno de los resultados más bajos, sin embargo no cumple con la norma. La concentración media de coliformes fecales para este muestreo fue de 28 NMP/100 mL con una desviación estándar de 21 (hubo valores extremos altos y bajos). La media fue muy similar con respecto al primer muestreo pero con datos más dispersos. Este muestreo, al realizarse con base en la selección aleatoria de usuarios para la encuesta, abarcó un área mayor, y confirmó los resultados del primer muestreo.

A partir de estos análisis se puede afirmar que la ASADA actualmente distribuye agua no potable desde el punto de vista microbiológico, lo cual supone un muy alto riesgo en la salud de los usuarios. A diferencia de otros contaminantes cuyas repercusiones se presentan después de un largo periodo de exposición, por ejemplo contaminantes químicos como sub productos de desinfección, pesticidas, etc., la contaminación microbiológica supone un riesgo y afectación inmediata, pudiendo causar enfermedades infecciosas a las personas, sobre todo a la población más vulnerable, como niños, ancianos o en general personas inmunocomprometidas, es por ello que los riesgos asociados a este tipo de contaminación deben ser siempre considerados con prioridad (Galvis et al., 1999). En la sección 3.4 se presenta información acerca de las afectaciones en la salud de los habitantes de Agujitas, producto de la contaminación microbiológica.

Cabe agregar que el origen de la contaminación microbiológica no debe atribuirse solamente al agua proveniente de la red de distribución, pues pueden darse casos de contaminación cruzada entre el efluente de las aguas residuales de las viviendas y la acometida intradomiciliar. De hecho, en un estudio realizado en Agujitas (Livenais, 2009) se demostró que los suelos del área son muy impermeables, y no permiten una correcta infiltración de los efluentes de los tanques sépticos, situación que sumada a las frecuentes interrupciones en el servicio de agua (lo cual puede generar presiones negativas en las tuberías) representan un factor de riesgo importante por contaminación cruzada, sobre todo en un sistema que carece de desinfección.

3.4. INCIDENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN

Según Esquivel (comunicación personal, noviembre de 2013), los habitantes locales se han acostumbrado al consumo de agua no potable que ofrece la ASADA, de modo que no presentan diarreas de alta tasa, solamente afecciones menores como colitis o diarreas de baja tasa (con poca frecuencia). Además, la gente tiene la costumbre de desparasitarse cada seis meses y consulta con poca frecuencia, de modo que cuando se trata de diarreas de baja tasa, recurren a remedios caseros. En las heces de niños y adultos predomina *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, agregó Esquivel.

Esquivel menciona que a su juicio el problema más grave con la población local corresponde a las manifestaciones en la piel o a afecciones conocidas como *forúnculos* (acumulación de leucocitos en una región del cuerpo donde no hay lesión). Se atienden al menos cinco pacientes por semana con estas afecciones (conocidas popularmente como *diviesos*).

En cuanto a las afecciones entéricas, agregó que los principales afectados son los locales, haciendo énfasis en la especial condición de vulnerabilidad que tienen los niños, quienes a causa de parasitosis sufren de crecimiento más lento, problemas gastrointestinales, falta de apetito, bruxismo, afectando su rendimiento escolar (padecimiento de anemia, sueño durante las clases). Por otro lado, indicó que la población adulta sufre principalmente de colitis, distensión abdominal e infecciones en la piel.

Con respecto a la población no permanente, conformada principalmente por turistas, mencionó el Dr. Esquivel que el EBAIS recibe personas que buscan atención con diarreas de alta tasa y deshidrataciones de moderadas a severas; esto cuando se trata de turistas que permanecen en el pueblo alrededor de cinco días. A su juicio, probablemente se dan más casos pero se trata de turistas que visitan Drake solamente de paso y sus síntomas se manifiestan en otra parte.

Los forúnculos son causados por las bacterias *Staphylococcus aureus*, sin embargo también pueden ser provocados por otras bacterias y hongos (National Institutes of Health, 2012). No se puede ser concluyente con que estas manifestaciones en la salud de las personas sean causadas por el consumo del agua cruda, sin embargo es evidente desde la perspectiva de los servicios de salud locales que hay una incidencia en la salud de los habitantes del pueblo que puede asociarse con el consumo de agua no potable con contaminación microbiológica, lo cual demuestra la urgencia de contar con un tratamiento para potabilizar el agua. Es importante señalar que la enfermedad a causa del consumo de agua no potable tiene también implicaciones socio económicas pues las capacidades laborales, académicas y la calidad de vida en general de las personas se ve comprometida.

3.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA

3.5.1. Aforo de las fuentes de agua.

Conforme se mencionó en la metodología (sección 2.6.) se dispone de tres datos de aforos tomados en tres fechas diferentes. En la Figura 43 se observa que la única fuente de la cual se tiene más de un aforo (Petrona) hay un comportamiento acorde con las condiciones estacionales de la zona de estudio. En octubre de 2009, mes con más precipitaciones en el año, se midió un caudal casi tres veces superior al caudal registrado en el mes de marzo de 2013, lo cual demuestra la gran variabilidad en la producción de agua que puede presentar una fuente, en este caso superficial.

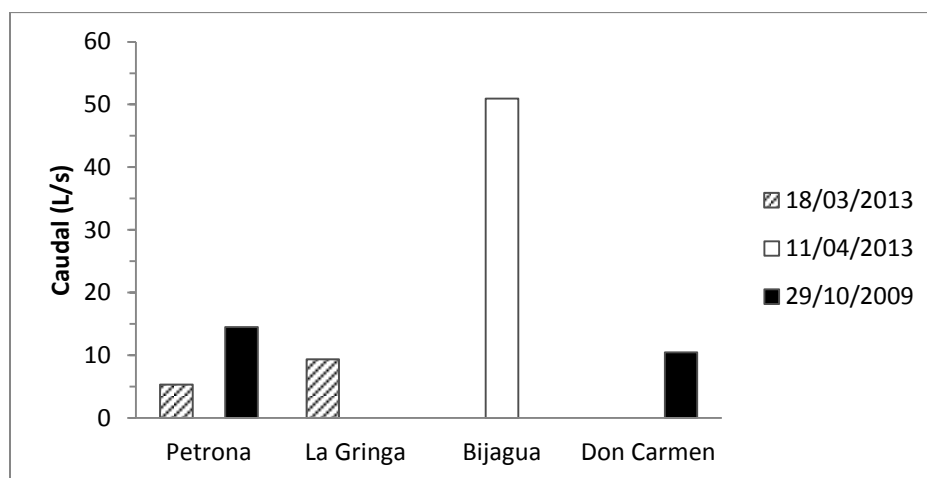


Figura 43. Medición de caudales en las fuentes utilizadas por la ASADA. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del AyA y la Dirección de Agua del MINAE.

Como se mencionó en la sección 1.5 del marco de referencia, es vital conocer cuánta agua se dispone en las fuentes para determinar si podrán satisfacer las necesidades de la población en un periodo determinado. Se mencionó además cuáles son los requerimientos mínimos de información. En ese sentido, el aforo de las fuentes en un lapso significativo de tiempo escapó al alcance de la presente investigación, sin embargo se opta por utilizar la información de los aforos realizados por el AyA, considerando que fueron realizados a finales del mes de marzo, tiempo en que se esperaría caudales mínimos. Con dicha información se plantean escenarios de disponibilidad de agua de las secciones 3.6.1.5 y 3.6.2.5.

Por otro lado, cabe mencionar que el caudal de 9,38 L/s para La Gringa (Figura 43), corresponde a la suma de los aforos realizados en dos afluentes que se unen para formar la quebrada La Gringa. El caudal individual de dichos afluentes es de 2,88 L/s y 6,50 L/s. Este último caudal corresponde al afluente donde recientemente se construyó la toma, y según se mencionó en la sección 3.1.2, parece ser que se está captando todo el caudal de la fuente. Debe confirmarse esta situación, pues habría implicaciones ecológicas y de sustentabilidad importantes (según directrices de la Dirección de Agua del MINAE, se debe reservar al menos un 10% como caudal ambiental) y además se tendría un caudal menor disponible para el abastecimiento de agua, pues el otro afluente actualmente no está siendo captado.

3.5.2. Calidad del agua en las fuentes

3.5.2.1. Turbiedad y color

Los resultados para la medición de turbiedad y color se muestran en la Figura 44 y Figura 45 respectivamente. El 15 de abril de 2014 se presentó el escenario más crítico que pudo muestrearse. Se observan los mayores valores de turbiedad y color como resultado de que la madrugada de ese día llovió torrencialmente hasta aproximadamente las 7:00 a.m. La muestra de La Gringa se tomó cerca de una hora después de que las lluvias amainaron. La muestra de Petrona se tomó aproximadamente cuatro horas y media después, esto pues el recorrido a pie hasta las fuentes demora varias horas. Los datos de color y turbiedad para la fuente Don Carmen del 15 de noviembre de 2001 se consultaron en el expediente de la ASADA de Bahía Drake, en Estudios Básicos y Diseño del AyA.

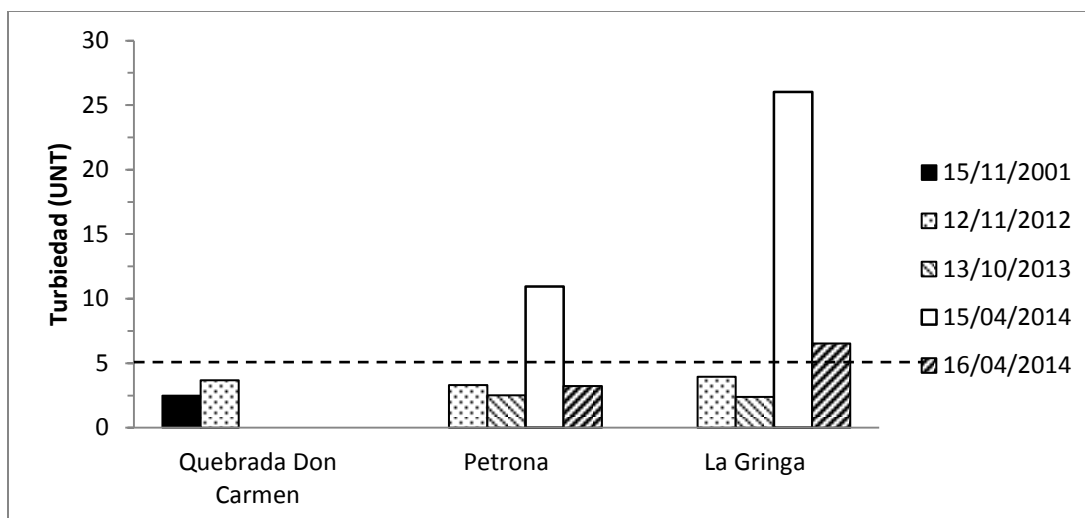


Figura 44. Valores de turbiedad en las muestras de agua. La línea discontinua corresponde al valor máximo admisible según Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR, AyA y el autor.

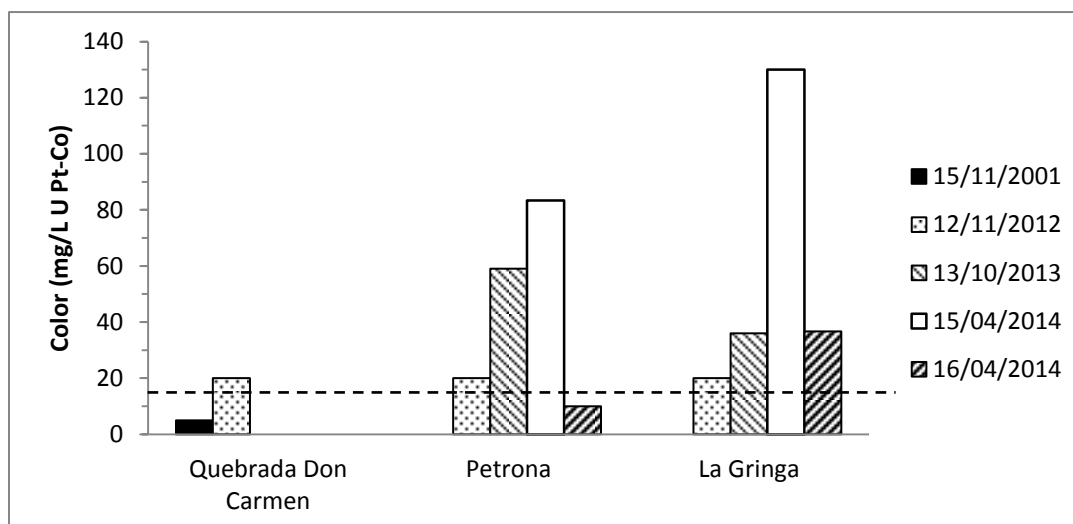


Figura 45. Valores de color en las muestras de agua. La línea discontinua corresponde al valor máximo admisible según Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR, AyA y el autor.

La fuente Petrona tuvo un promedio de 5,00 UNT (mín. de 2,52, máx. de 10,93) y La Gringa 9,73 UNT (mín. de 2,39 y máx. de 26,03). Estos valores son bajos e incluso podrían ser admisibles en un filtro lento de arena sin necesidad de pretratamiento (Hendricks, 1991, citado por Galvis et al., 1999). Según se observa en la Figura 44, todas las muestras a excepción de la del 15 de abril de 2014 tuvieron turbiedades menores a 6,53 UNT, valor ligeramente mayor que el máximo admisible según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (5 UNT), lo cual indica una muy buena calidad, considerando que se trata de agua sin tratar.

Es meritorio señalar aquí que este orden de turbiedades se obtuvo en ambas fuentes incluso en el mes más lluvioso del año para esa región, lo cual parece indicar que siempre y cuando no haya

precipitaciones, las fuentes mantienen turbiedades muy bajas. Según el modelo para la selección de sistemas FiME (Figura 5), los promedios obtenidos en ambas fuentes corresponden a un Rango bajo (asociado a cuencas poco intervenidas, sin trazas de erosión ni terrenos de uso agrícola que drenen aguas arriba de la fuente), con condiciones críticas registradas del orden de 26,03 UNT, lo cual continúa siendo muy bajo en comparación con los órdenes de turbiedad que trataban los sistemas FiME de la investigación citada por Sánchez et al. (2007) (Cuadro 3).

En relación al color, Petrona tuvo un promedio de 43,03 unidades de color (mín. de 10,00 y máx. de 83,33) y La Gringa 55,67 unidades de color (mín. de 20 y máx. de 130), correspondientes a un Rango alto según el modelo mencionado. No obstante, es vital aquí hacer la distinción entre color aparente y color real: el color aparente puede deberse al aporte de partículas en suspensión y el color real se obtiene luego de filtrar las muestras eliminando la turbiedad (o por centrifugación). Las muestras analizadas en la presente investigación fueron para color aparente. Esto podría conducir a conclusiones erradas, pues por ejemplo, Galvis et al. (1999) mencionan que si se presentan turbiedades inferiores a 10 UNT y niveles de color superiores a 40 unidades de color (como indican los resultados obtenidos) es recomendable realizar estudios a escala piloto para determinar la viabilidad de un tratamiento mediante FiME, sin embargo los rangos de color se refieren a color real. Es probable que las muestras analizadas tuvieran rangos más bajos de color real, por lo que es recomendable volver a medir este parámetro.

La importancia que tiene este parámetro se debe al posible riesgo de que el carbono orgánico natural (cuya medida indirecta es el color real) reaccione durante la desinfección con cloro, formando subproductos de desinfección (en aguas superficiales, el color se ha atribuido principalmente a ácidos fúlvicos y húmicos, y se considera la fracción más abundante de material orgánico en ellas) (Galvis et al., 1999).

3.5.2.2. pH y temperatura

La medición de pH se limitó a los muestreos del 13 de octubre de 2013, del 15 y 16 de abril de 2014 y a la información brindada por el proyecto CRI-SUR. Todas las muestras presentaron valores muy cercanos a pH neutro, el promedio para la fuente Petrona fue de $7,25 \pm 0,13$ y de $7,30 \pm 0,29$ para La Gringa. La temperatura promedio para la fuente Petrona fue de $22,8 \pm 2,5$ °C y de $22,9 \pm 2,2$ °C para La Gringa.

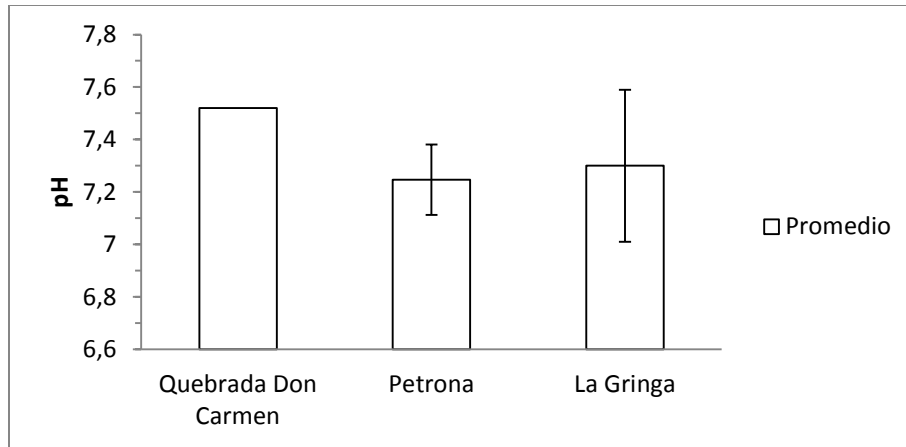


Figura 46. Promedio de pH en las muestras de agua. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR y el autor.

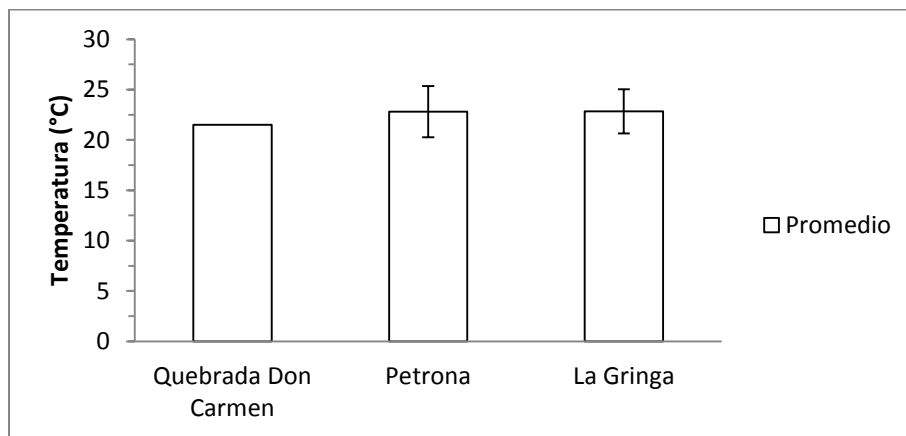


Figura 47. Medición de temperatura en las muestras de agua. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR y el autor.

La temperatura es un parámetro crucial en el correcto funcionamiento de un filtro lento de arena. Según Galvis et al. (1999) temperaturas de 20°C generan excelentes tratamientos, mientras que bajas temperaturas disminuyen la actividad biológica del filtro. A pesar de que pueden darse variaciones en la temperatura durante el día o según la época, reducciones drásticas de eficiencia en la remoción de coliformes fecales ocurren a temperaturas del orden de 2 ó 4 °C (Galvis et al., 1999) lo cual es poco probable que ocurra en el área de estudio. En cuanto al pH, al ser neutro no se espera que se presenten problemas durante el proceso de desinfección, en un eventual tratamiento.

3.5.2.3. Indicadores microbiológicos

Los resultados para el análisis microbiológico se presentan en la Figura 48, Figura 49 y Figura 50. El promedio de coliformes fecales para La Gringa fue de 241,5 NMP/100 mL y de 23,75 NMP/100

mL para Petrona. Para el análisis de coliformes totales y *E. Coli* solo se contó con un muestreo (Figura 49 y Figura 50).

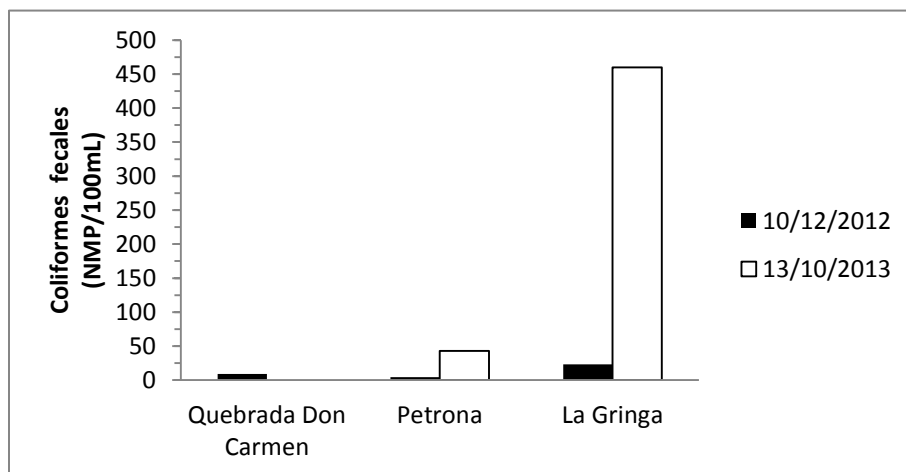


Figura 48. Resultado para el análisis de coliformes fecales en la muestras de agua. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR y el autor.

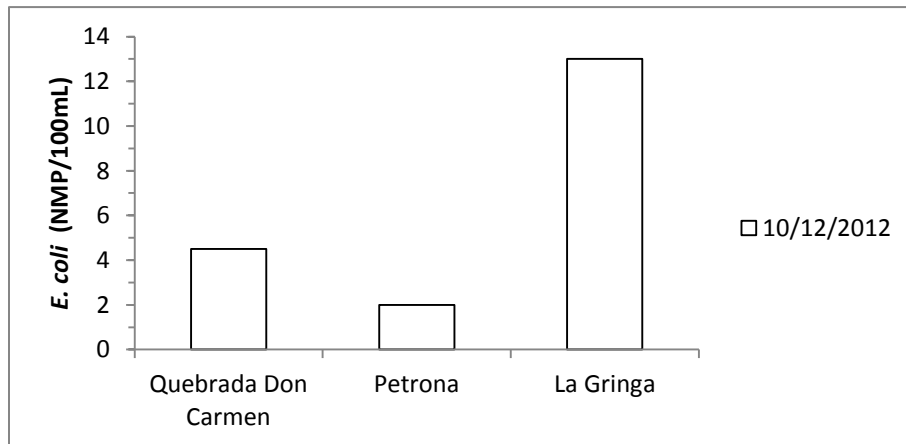


Figura 49. Resultado del análisis de *E. Coli* en las muestras recolectadas. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR.

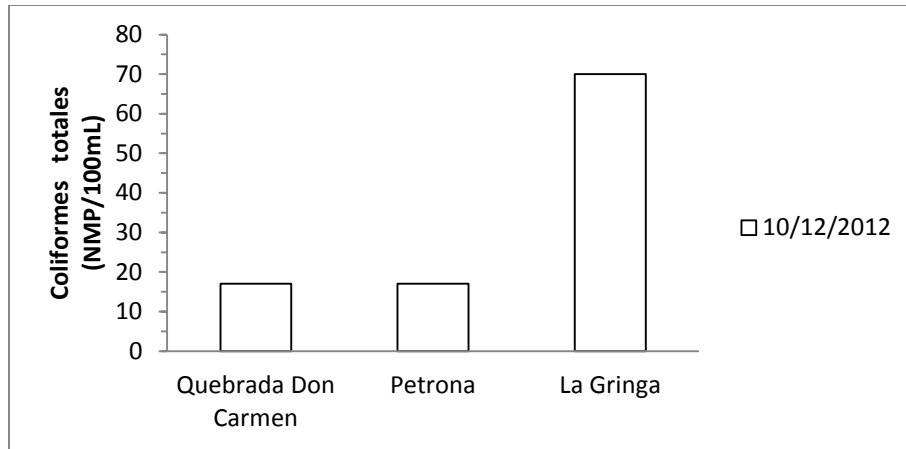


Figura 50. Resultado del análisis de coliformes totales en las muestras recolectadas. Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CRI-SUR.

A pesar de que se detectaron indicadores de contaminación fecal en todas las captaciones, las concentraciones fueron bajas considerando que se trata de agua cruda o sin tratamiento, lo cual es esperable en micro cuencas poco intervenidas como las estudiadas (Galvis et al., 1999). De hecho, es propio de una fuente superficial que se detecten coliformes fecales o *E. coli*. producto de las excretas de mamíferos, aves u otros animales (durante los recorridos fue común observar huellas de dantas, tepezcuintles, etc.). En La Gringa se obtuvieron los mayores valores en todos los indicadores microbiológicos, sin embargo, no representan un nivel de contaminación importante. Así lo demuestra el rango de clasificación de calidad de agua para implementación de sistemas FiME (Cuadro 4) en ambas fuentes, las cuales corresponden a un Rango bajo.

3.5.3. Índice de calidad de agua

Con el propósito de analizar la calidad del agua en las fuentes tomando en cuenta mayor información o más parámetros de calidad, se procedió a calcular un índice de calidad de agua para la fuente La Gringa. Se hace la aclaración de que un muestreo puntual no es suficiente para caracterizar la calidad del agua en una fuente, pero puede utilizarse de manera exploratoria para advertir sobre situaciones que ameriten un mayor análisis. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 19 y la descripción de los cálculos puede consultarse en el Apéndice 2.

Cuadro 19. Índices de calidad de agua calculados. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC y el autor.

Fuente Índice de Calidad	La Gringa	Comentario
ICA-NSF-modificado	Mediana calidad.	Puede utilizarse para abastecimiento humano, previo tratamiento (Torres et al., 2009).
ICA-Objetivo	Alta.	Según el índice, el agua es “Apta para uso potable con filtración directa en lecho granular y desinfección. Uso en riego sin restricción”.

El día en que se realizó el muestreo fue particularmente soleado y sin precipitaciones a pesar de que era el mes más lluvioso del año para el área de estudio.

Los parámetros tomados en cuenta en el ICA-NSF proveen información adicional sobre la calidad del agua en la fuente y aunque no se logró calcular el índice para la fuente Petrona, puede realizarse un análisis individual de los parámetros. En el Cuadro 38 (Apéndice 2), se observa que La Gringa tuvo un nivel de oxígeno disuelto cercano a la saturación, lo cual corresponde a una calificación o un valor normalizado de 99 (Cuadro 39) y es un buen indicador para la operación de una planta FiME, pues en el filtro lento de arena se requiere de suficiente oxígeno y nutrientes para la actividad biológica que en él se desarrolla.

En ambas fuentes (Petrona y La Gringa) los valores normalizados para nitrógeno total y fósforo total fueron de 75 y 77 respectivamente, lo que podría indicar una presencia moderada de nutrientes, situación que puede más bien ser benéfica para el crecimiento de algas y otros microorganismos que participan en el tratamiento de la capa biológica. No obstante, las concentraciones de nitrógeno total y fósforo según el análisis químico se reportaron como “menor que 1,55 mg/L”, y por lo tanto se utilizó ese resultado (el cual es una especie de “límite superior”) para obtener los valores de calidad normalizados. Técnicamente las concentraciones pudieron ser desde cercanas a cero hasta 1,55 lo cual no permite conocer con certeza si la calidad en esos parámetros fue alta o baja, pues las curvas consideran rangos mucho más bajos. En ese sentido no es posible ser concluyente con respecto a esos parámetros.

La demanda bioquímica de oxígeno mostró valores normalizados de calidad muy bajos en ambas fuentes, lo cual significa que la DBO fue muy alta (del orden de 12-15 mg/L). Esto es muy inusual, considerando que se trata de aguas superficiales en cuencas prácticamente sin intervención o fuentes puntuales de contaminación. Según Sierra (2011) niveles de DBO de ese orden son esperables a más de 10 m de profundidad en un embalse; por otro lado no es consistente con el hecho de que se haya

obtenido un oxígeno disuelto de saturación (a mayor DBO se espera menor oxígeno disuelto). Como se reiteró anteriormente, no se puede ser concluyente con datos de un muestreo puntual sin embargo estos niveles de DBO podrían correlacionarse con los altos valores de color aparente mencionados en la sección 3.5.3 que sugerían niveles altos de carbono orgánico natural, lo cual invita a investigar a mayor profundidad estos parámetros.

El resultado del ICA-Objetivo clasificó el agua de la fuente La Gringa como de alta calidad. Según el método sería una fuente apta para consumo humano, previa filtración y desinfección. Este tipo de índice de calidad de agua es mucho más simple en cuanto a que se basa en muy pocos parámetros, sin embargo puede ser útil para hacer una valoración inicial sobre una fuente de agua que se pretenda utilizar para abastecimiento humano.

Algunos parámetros medidos para calcular los índices de calidad de agua se encuentran normados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, y se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 20. Comparación de algunos parámetros medidos para el cálculo de los índices de calidad de agua con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Fuente: Elaboración propia con información de (Reglamento para la Calidad del Agua Potable, 2005)

Parámetro	Unidades	Fuente de agua		Valores según Reglamento para la Calidad del Agua potable	
		La Gringa	Petrona	Valor recomendado	Valor máximo admisible
pH	Unidades de pH	7,09	7,15	6,5	8,5
Coliformes fecales	NMP/100 mL	460	43	Ausente	Ausente
Temperatura	°C	24,4	24,6	18	30
Turbiedad	UNT	2,39	2,52	<1	5 ^a
Sólidos disueltos totales	mg/L	147	155	-	1000

a. Valor máximo admisible en no más del 10% de las muestras analizadas en el año.

Como puede observarse en el Cuadro 20, aun tratándose de agua cruda, ambas fuentes cumplen con el reglamento en todos los parámetros mostrados, a excepción de los coliformes fecales. Esto es un indicativo adicional de que las fuentes tienen una buena calidad y podría ser factible un tratamiento por FiME.

3.6. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN AGUJITAS

La demanda de agua constituye una información básica necesaria tanto para el diagnóstico del acueducto como para fines de planificación; permite determinar las necesidades hídricas y contrastarlas con la disponibilidad de agua (producción de agua en las fuentes) en un periodo de determinado.

Según la American Water Works Association (2007) (Asociación Americana de Obras de Agua) la elección de un método para predecir o proyectar demandas hídricas dependerá en gran medida de la información o datos disponibles, la complejidad del área abastecida por el prestador del servicio y el grado de confianza o exactitud requerido. Menciona además, que cuando la información es limitada debe utilizarse un modelo simple pues la experiencia ha demostrado que modelos relativamente simples pueden dar resultados satisfactorios aun cuando se dispone de mucha información.

En ese sentido, la presente investigación planteó proyecciones de demanda de agua utilizando dos métodos, el primero basado en la metodología de López (2003) adaptado y modificado por el autor, con un nivel de rigurosidad y complejidad relativamente alto, tomando en cuenta las limitaciones de información. También se realizó una proyección de demanda más simple, basada en la metodología propuesta por el AyA en la Guía “Criterios para el diseño de acueductos rurales”.

Es importante aclarar que las proyecciones o predicciones en el consumo de agua pueden ser sumamente complejas. Al respecto, la American Water Works Association (2007) menciona que:

La predicción en la demanda de agua puede ser un proceso muy técnico e intensivo en algunas situaciones. La primera regla de oro debería ser evaluar el grado de desagregación y la complejidad necesaria para proveer la precisión y utilidad requerida en las predicciones. Si no puede accederse fácilmente a bases de datos de grupos de usuarios o áreas, de forma desagregada, o si la precisión de los datos es sospechosa, se debe utilizar la solución del 80 por ciento. Un 100 por ciento de precisión es imposible, sin importar cuanto esfuerzo se haga. Incluso un 95 por ciento es improbable para todos los elementos de una predicción a largo plazo sin importar el esfuerzo o dinero invertido; por lo tanto, tiene sentido aplicar la regla del 80 por ciento (Ley de Pareto) en la que invirtiendo un 20 por ciento de esfuerzo potencial, se puede obtener un 80 por ciento (o más) de los resultados potenciales. (pág. 71)

3.6.1. METODOLOGÍA LÓPEZ (2003)

3.6.1.1. Estimación de la población futura

La información censal para el pueblo de Agujitas se muestra en el Cuadro 21 y en la Figura 51. Se observa que entre 1984 y 2000 tuvo una tasa promedio anual de crecimiento poblacional fue de 7,92% y entre 2000 y 2011 de 10,3%. A pesar de que no se tienen más datos intermedios, esto podría indicar que las tasas de crecimiento anual hayan sido crecientes en todo el periodo.

Cuadro 21. Población censada en Agujitas. Fuente: INEC.

Censo	Población	Tasa de crecimiento (%)	Tasa de crecimiento promedio anual (%)
1984	75	--	--
2000	170	127%	7,92%
2011	363	114%	10,3%

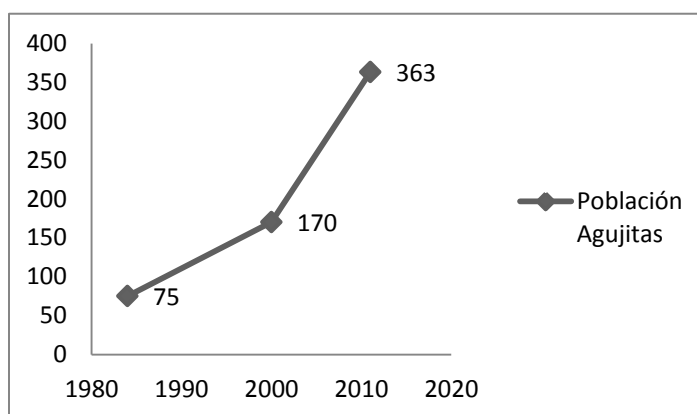


Figura 51. Gráfico del crecimiento poblacional de Agujitas en los tres últimos censos nacionales. Fuente: INEC.

Los resultados de las proyecciones se muestran a continuación. En las proyecciones lineal y geométrica se empleó análisis de sensibilidad para tomar en cuenta el dato censal intermedio (no solo los extremos). Los métodos de proyección pueden consultarse a detalle en el Anexo 5.

Cuadro 22. Proyección de crecimiento poblacional por método lineal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.

Pci	k	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
1984	10,67	395	448	502	555	608	662	715
2000	17,55	416	503	591	679	767	854	942
Promedio	14,11	405	476	546	617	687	758	829
	Tasa crecimiento		0,174	0,148	0,129	0,114	0,103	0,093

Cuadro 23. Proyección de crecimiento poblacional por método geométrico. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.

Pci	r	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
1984	0,06014	433	579	776	1039	1391	1863	2494
2000	0,07140	446	630	890	1256	1773	2503	3534
Promedio	0,06577	439	604	831	1142	1571	2160	2970
	Tasa crecimiento		0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375

Cuadro 24. Proyección de crecimiento poblacional por método logarítmico. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.

Pci	k	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
1984	0,051144395	--	--	--	--	--	--	--
2000	0,068964036	--	--	--	--	--	--	--
Promedio	0,060054216	454	614	829	1119	1511	2040	2754
	Tasa crecimiento		0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350

Cuadro 25. Proyección de crecimiento poblacional por promedio de los métodos lineal, geométrico y logarítmico. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.

	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
	433	565	735	959	1256	1653	2184
Tasa de crecimiento		0,304	0,302	0,305	0,310	0,315	0,322

Cuadro 26. Proyección de crecimiento poblacional por ajuste de función exponencial. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.

	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
	440	588	785	1048	1400	1871	2499
Tasa de crecimiento		0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336

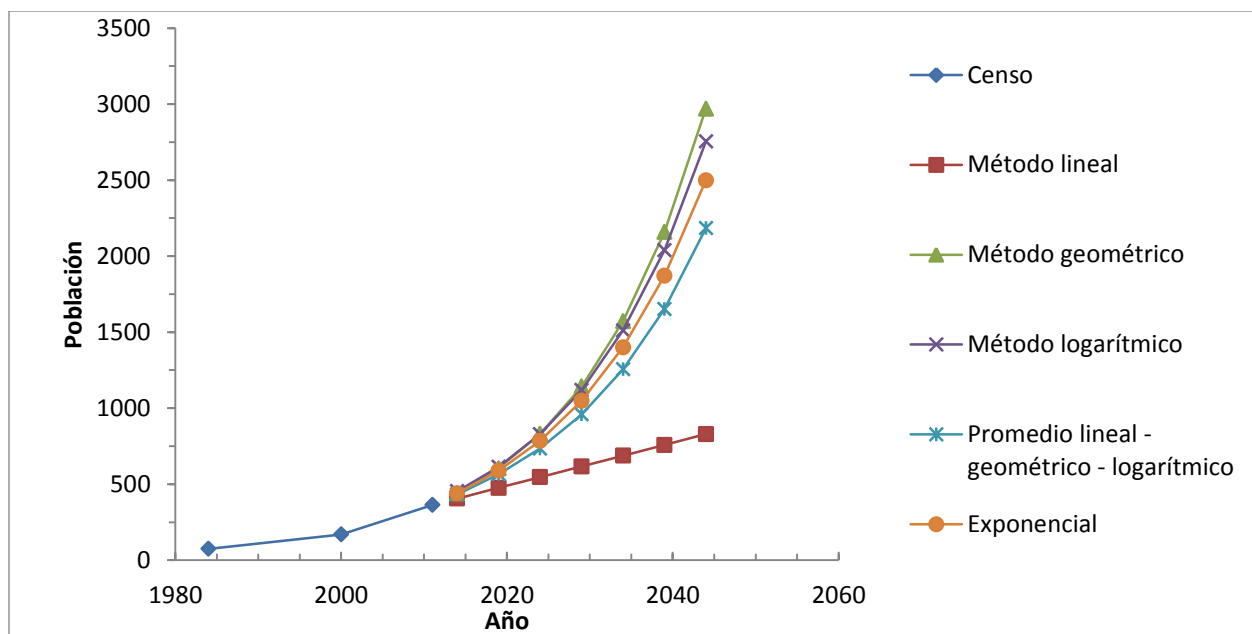


Figura 52. Proyecciones de crecimiento poblacional para el pueblo de Agujitas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEC.

A partir de los cuadros anteriores, se observa que las tendencias en las tasas de crecimiento son: decreciente para el método lineal (Cuadro 22), constante para los métodos geométrico (Cuadro 23), logarítmico (Cuadro 24) y exponencial (Cuadro 25), y creciente para el promedio (Cuadro 26).

Antes de elegir un método de proyección, se deben analizar también aspectos urbanísticos y de ordenamiento territorial con el fin de entender mejor el tipo de crecimiento que podría tener el lugar en estudio.

Según se observa en el mapa de zonificación de uso de suelo del Plan Regulador de la Municipalidad de Osa (Figura 53), la gran mayoría de edificaciones (viviendas, comercios, hoteles e institucionales) se encuentran ubicadas en la *Zona para actividades turísticas de baja intensidad* y en la *Zona marítimo terrestre*; en menor medida en la *Zona llana de intervención moderada*. El reglamento de zonificación permite usos habitacional, de hospedaje turístico, de comercio y de servicios (entre otros) en la *Zona para actividades turísticas de baja intensidad* y en la *Zona llana de intervención moderada*, sin embargo no se indican límites o fronteras de densidad^f. Aunque esto podría suponer un crecimiento no restringido en el futuro cercano, se observan signos de saturación en el centro del pueblo. En cuanto a la *Zona marítimo terrestre*, a pesar de que un importante número de casas y algunos hoteles se ubican en esa franja, al ser un área sometida a régimen especial, con necesidad de concesión y mayores

^f Cabe mencionar que al no haber datos sobre límites de densidad poblacional o “techos”, no pudo realizarse una proyección mediante curva logística (conocida como curva “S”).

restricciones en su uso, no es de esperar un crecimiento tan acelerado como en las otras zonas mencionadas.

Con base en el análisis anterior y en los siguientes criterios se decide utilizar la *proyección promedio*:

- ✓ La proyección promedio es la única que mostró tasas de crecimiento crecientes, al igual que el comportamiento histórico que indica la información censal.
- ✓ Autores como Smith et al. (2001), mencionan que una combinación de métodos de predicción a menudo logran mayor exactitud y menos variabilidad que los métodos individuales. Esto se debe a que al utilizar varios modelos, se incrementa la cantidad de información para la proyección final y los errores de compensación tienden a cancelarse, como consecuencia los métodos combinados disminuyen el riesgo de que se den errores muy grandes.
- ✓ La combinación de métodos mediante un promedio simple ha demostrado buenos resultados en proyecciones (Smith et al., 2001).

Catastro de viviendas y otras edificaciones; Agujitas, Osa.

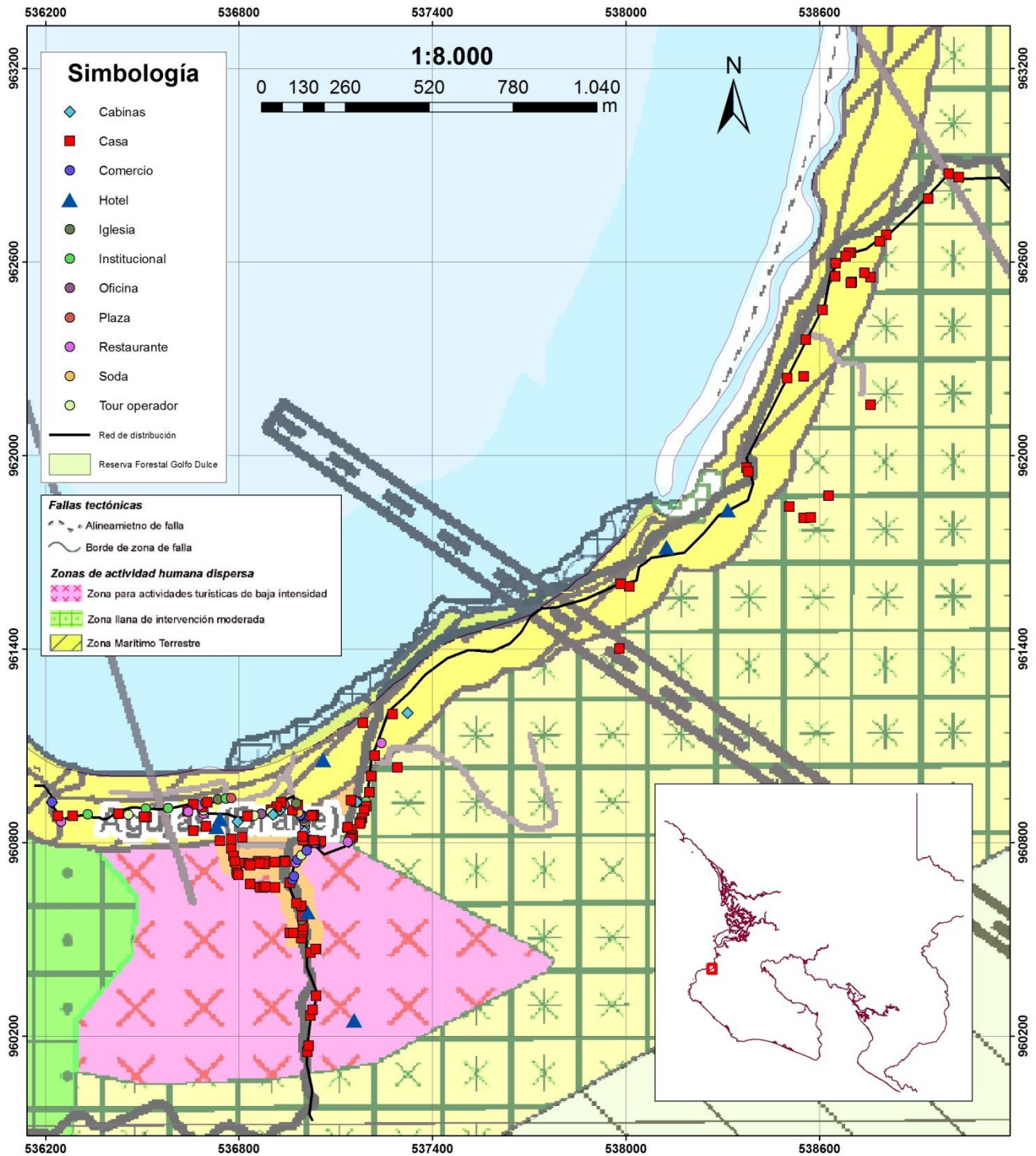


Figura 53. Catastro de viviendas, comercios e institucionales en el área de Agujitas. Basado en: (Municipalidad de Osa, s.f.), (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008)

3.6.1.2. Cálculo de consumo neto

El consumo neto o dotación neta es la cantidad de agua que se utiliza efectivamente en una comunidad, tomando en cuenta todas las actividades que se realizan en ella. Corresponde a la suma del consumo residencial o doméstico, industrial y comercial, y público e institucional.

3.6.1.2.1. Consumo residencial

A partir, se procedió a estimar un consumo residencial el cual fue de 375 L/(hab*día), para una media mensual de 29,14 m³/mes por vivienda (desviación estándar de 18,25). Cabe mencionar que al hacer un análisis de porcentajes acumulados, se observa que solo alrededor del 60% de los usuarios a partir de los cuales se estimó el consumo residencial, presentan consumos promedios mensuales menores a 29 m³/mes (Figura 54). Es decir, un 40% de los usuarios tuvo consumos superiores, del orden de 40, 50 e incluso 60 m³/mes. Esto es un resultado obvio de la dispersión obtenida, a pesar de los criterios de selección de datos que se empleó, y es un indicador de que la dotación puede ser muy variable dependiendo de las prácticas de consumo que tengan los usuarios.

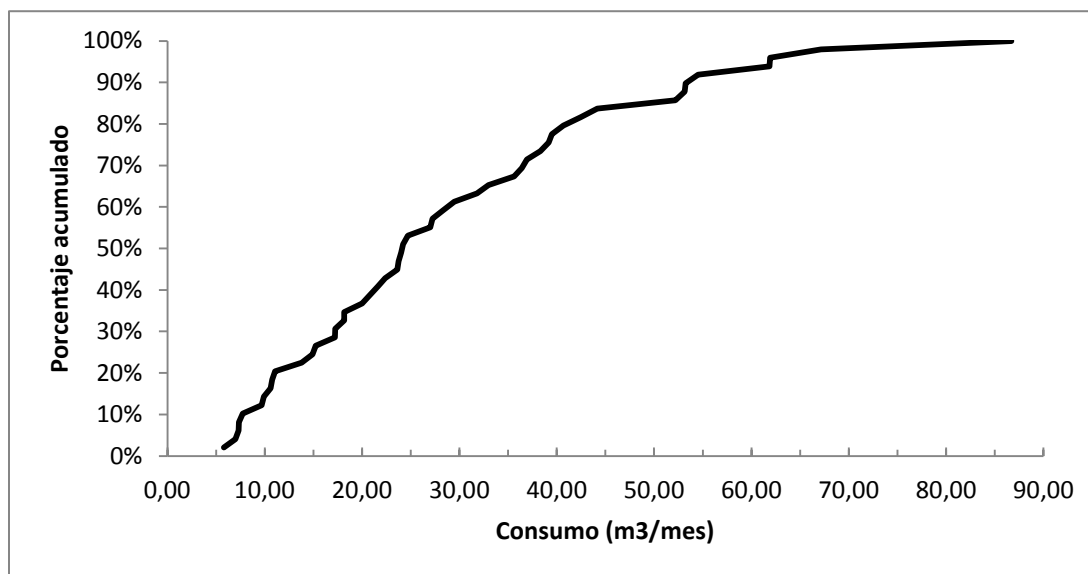


Figura 54. Porcentajes acumulados del consumo promedio mensual residencial, acueducto de Bahía Drake.

3.6.1.2.2. Consumo no residencial

El consumo no residencial para el área de estudio corresponde principalmente a comercios (supermercados, sodas, restaurantes, tour operadores, etc.), edificios de uso institucional (escuela, colegio, EBAIS) y alojamientos (cabinas y hoteles). El último representa un consumo muy importante debido a la alta afluencia de turistas en determinadas épocas del año.

El Cuadro 27 presenta los datos correspondientes a hoteles y cabinas, y el

Cuadro 28 los datos de comercios, institucionales y otros. No se aplicó la misma metodología que en la estimación del consumo residencial (salvo algunos casos como los institucionales) debido a que el registro de consumo de los abonados se encuentra desagregado parcialmente, y en muchos casos no se especifica el tipo de usuario y el nombre del establecimiento.

Cuadro 27. Sitios de alojamiento en el área de estudio.

Categoría	Nombre	Capacidad máxima de hospedaje (huéspedes/día)	Fuente de agua	Criterio para asignación de consumo	Fuente
Cabinas	Cabinas El mirador	30	Propia	Promedio de datos de cabinas	El autor
	Cabinas Casa Miriam	9	ASADA		
	Cabinas Manolos	23	ASADA		
	Martinas Place	17	ASADA		
	Cabinas Murillo	20	ASADA		
	Sin nombre	9	ASADA		
	Sin nombre	10	ASADA		
Hoteles	Hotel Tranquilo	28	Propia y ASADA	Datos de Hotel Caño Divers	El autor
	Hotel Caño Divers	30	ASADA		
	Hotel Rancho Corcovado	35	Propia y ASADA (solo en emergencias)		
	Hotel Vista Drake	15	ASADA y propia (recolección de lluvia en época lluviosa)		
	Hotel Rancho Las Cotingas	14	ASADA	Datos de Hotel Caño Divers	El autor
	Drake Bay Paradise Lodge	20	ASADA		
	Hotel Pura Vida	15	ASADA		
Total		275			

Cuadro 28. Catastro de usuarios según el uso y criterios para la asignación del consumo diario.

Categoría	Actividad específica	Cantidad	Criterio para asignación de consumo	Fuente
Comercial	Sala de masaje	1	Norma AyA (Negocio)	(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)
	Sala de belleza	1		
	Sala de juegos	1		
	Supermercado / abastecedor	3		
	Pulpería	1		
	Sala de billar y otros	1		
	Soda	3		
	Bar	3	Datos “Bar La Jungla”	El autor
	Salón de baile / Disco	1	Norma AyA (Oficina)	(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)
	Oficina	2		
	Restaurante	9	Norma AyA (Restaurante pequeño)	(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)
Tour operador	6	Datos tour operador “Kurt”	El autor	
Institucional	Liceo de Drake	--	Datos Liceo de Drake	El autor
Institucional	Escuela de Drake	--	Datos Escuela de Drake	El autor
Institucional	EBAIS Drake	--	Datos EBAIS Drake	El autor
Otros	Vestidores Plaza fútbol	1	Norma AyA (Plaza)	(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011)
	Fundación Corcovado	--	Datos Fundación Corcovado	El autor
	Escuela de Inglés “Nature kids”	--	Datos Escuela Drake	El autor
	Iglesia	3	Datos Iglesia cristiana	El autor

3.6.1.2.3. Consumo neto

A partir del consumo residencial y el consumo no residencial, se obtuvo el “consumo neto”. Esta estimación considera el escenario crítico de consumo que corresponde a los meses de mayor visitación en Agujitas donde prácticamente se tienen ocupaciones del 100% (de diciembre a abril y de julio a agosto). El consumo de cada subunidad se subdivide entre la población actual (433 personas, según proyección) y se suman los subtotaes para obtener una dotación en litros por persona por día. Este método “recarga” todos los usos de agua en el habitante, por lo que dependiendo del tamaño de la población (si es pequeña) y la cantidad de usos no residenciales (si son muchos), podría dar como resultado una dotación muy alta. En efecto, el consumo neto estimado para Agujitas fue de 580 L/(hab*día) (Cuadro 29).

Cuadro 29. Consumo neto (dotación por habitante por día) estimada para Agujitas.

Tipo de consumo	Sub unidad	L/día	Unidades	L/(habitante*día)
Residencial	--	--	--	375
Subtotal				375
Alojamiento	Total de cabinas (por huésped)	145	88 ^a	29,5
	Total de hoteles (por huésped)	257	94 ^b	55,8
Subtotal				85,3
Comercial	Sala de masaje	970	1	2,2
	Sala de belleza	970	1	2,2
	Sala de juegos	970	1	2,2
	Supermercado / abastecedor	970	3	6,7
	Pulpería	970	1	2,2
	Sala de billar y otros	970	1	2,2
	Soda	970	3	6,7
	Bar	772	3	5,3
Comercial	Salón de baile / Disco	772	1	1,8
	Oficina	970	2	4,5
	Restaurante	1940	9	40,3
	Tour operador	1217	6	16,9
Subtotal				93,4
Institucional	Liceo de Drake	4113	--	9,5
	Escuela de Drake	3680	--	8,5
	EBAIS Drake	993	--	2,3
Subtotal				20,3
Otros	Vestidores Plaza fútbol	970	1	2,2
	Fundación Corcovado	233	--	0,5
	Escuela de Inglés "Nature kids"	630 ^c	--	1,5
	Iglesia	176	3	1,2
Subtotal				5,5
TOTAL				580

a. Se obviaron las cabinas con fuente propia de abastecimiento.

b. Se obviaron los hoteles con fuente propia de abastecimiento.

c. Asumiendo 15 alumnos regulares.

3.6.1.3. Pérdidas de agua y consumo total

Las pérdidas de agua corresponden a la diferencia entre el volumen de agua producido y el utilizado por los usuarios; se clasifican como técnicas o físicas (inherentes al sistema, como fugas en la red o el tanque de almacenamiento, errores de medición) y comerciales (debidas a conexiones ilícitas y a deficiencias en la medición del consumo) (López, 2003).

Con base en los criterios mencionados en la sección 2.7.1, se define un porcentaje de pérdidas del 40%, obteniéndose el siguiente consumo total:

$$\text{Consumo total} \left(\frac{L}{\text{habitante} * \text{día}} \right) = \frac{580}{1 - 0,40} = 965 \frac{L}{\text{habitante} * \text{día}}$$

El consumo total per cápita obtenido es muy alto, sin embargo debe tomarse en consideración que la metodología López estima los consumos no residenciales y los asigna al consumo per cápita ($L/(\text{hab} * \text{día})$) de tal forma que todos los consumos de agua en el pueblo se dividen entre la población total. Esto causa que en poblaciones pequeñas el consumo total per cápita se incremente considerablemente, y al contrario en poblaciones mayores, al dividir los consumos no residenciales entre un número mayor de personas, el consumo total per cápita varía poco.

3.6.1.4. Caudal de diseño

Las distintas estructuras hidráulicas de un sistema de abastecimiento de agua se diseñan en función de los caudales de diseño, los cuales son: (1) Caudal promedio diario, (2) Caudal máximo diario y (3) Caudal máximo horario.

A pesar de que el AyA define periodos de diseño de 20 años, siguiendo la recomendación de Schultz & Okun (1990) y del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento de Colombia, de utilizar periodos de diseño de 10 y 15 años respectivamente, con el fin de reducir la carga financiera de un eventual proyecto para la construcción de una planta de tratamiento de agua potable y demás estructuras conexas, se establece un periodo de diseño de 15 años, tomando en cuenta que el consumo total estimado es relativamente alto, y enfatizando en la necesidad de implementar un programa de reducción de pérdidas. Además se definen como factores de variación de consumo los indicados en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Factores de variación de consumo definidos para el cálculo del caudal de diseño.

Caudal de diseño	Factor de variación de consumo	Fuente
Caudal máximo diario	1,25	(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011, pág. 5)
Caudal máximo horario	1,50	

3.6.1.5. Proyecciones de la demanda de agua y escenarios de disponibilidad

Se plantean dos escenarios para las proyecciones de la demanda de agua en Agujitas: El primero considera una reducción en el porcentaje de pérdidas de un 40% a un 25%, valor que se encuentra en el rango máximo aceptable según la normativa colombiana (Garzón, 2007, citado por Álvarez, 2012) y es

además una meta relativamente realista, considerando que en Costa Rica existen acueductos comunales de mayor tamaño como el de San Gabriel de Aserrí, que presentó un porcentaje de pérdidas sin haber implementado auditorías, del 22% (Álvarez, 2012), el cual se considera bajo en el país. Se propone que dicha reducción se alcanzaría mediante la implementación de un plan de mejora en la gestión técnica y comercial de la ASADA, entre otras medidas (ver Sección 3.7). El segundo escenario no considera cambios en el porcentaje de pérdidas, es decir se mantendría en 40%.

Para ambas proyecciones, se asumió un incremento en el consumo por alojamiento basado en las estadísticas de visitación al Parque Nacional Corcovado y la Reserva Biológica Isla del Caño (Figura 55 y Figura 56). Dicho incremento se definió de la siguiente manera: Se calculó la tasa de crecimiento promedio anual para cada área de conservación y luego se calculó el promedio de dichas tasas.

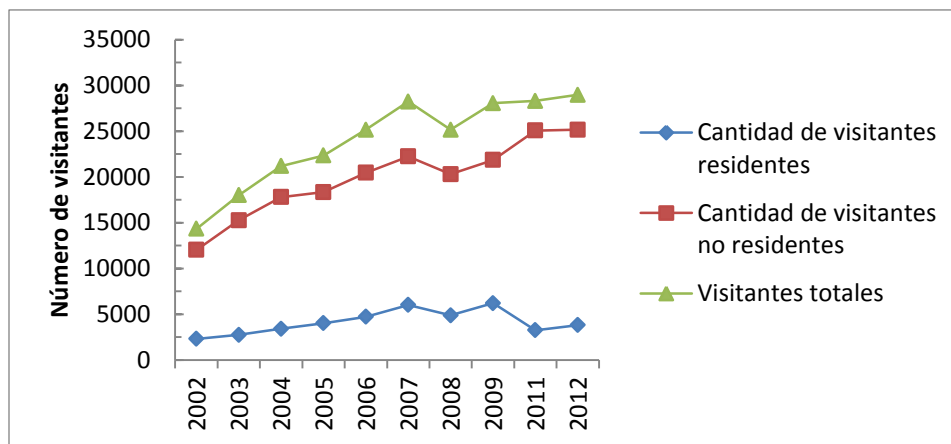


Figura 55. Visitaciones al Parque Nacional Corcovado en el periodo 2002-2012. Basado en: (ICT, 2010, 2013)

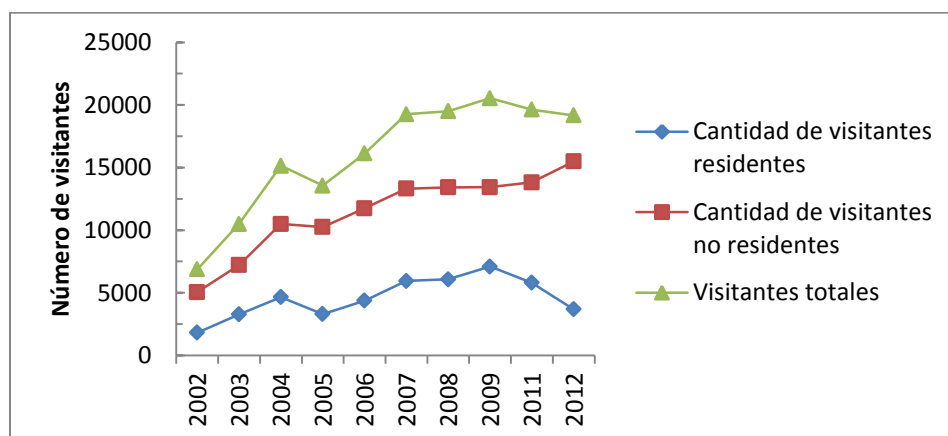


Figura 56. Visitaciones a la Reserva Biológica Isla del Caño en el periodo 2002-2012. Basado en: (ICT, 2010, 2013)

Para el periodo mostrado en las Figura 55, el Parque Nacional Corcovado tuvo una tasa de crecimiento anual promedio de 8,6% en las visitas, mientras que en La Reserva Biológica Isla del Caño fue de 13,8% (Figura 56). La media de ambas tasas es de 11,2%.

3.6.1.5.1. Escenario A: Reducción del porcentaje de pérdidas de un 40% a un 25% durante el periodo de diseño.

Cuadro 31. Proyección de las dotaciones en el periodo de diseño para el escenario A; metodología López (2003).

Año	Población	Incremento en consumo por alojamiento		Consumo (L/habitante*día)			
		%	L/día	Neto	% de pérdidas	Total	Adoptado
2014	433	--	--	580	40	965	965
2019	565	11,2	94,9	589	35	906	905
2024	735	11,2	105,5	600	30	857	860
2029	959	11,2	117,3	611	25	815	815

Cuadro 32. Proyección de caudales en el periodo de diseño para el escenario A; metodología López (2003).

Año	Población	Consumo total (L/(hab*día))	Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
2014	433	965	965	4,8	6,0
2019	565	982	980	6,4	8,0
2024	735	999	1000	8,5	10,6
2029	959	1019	1020	11,3	14,2

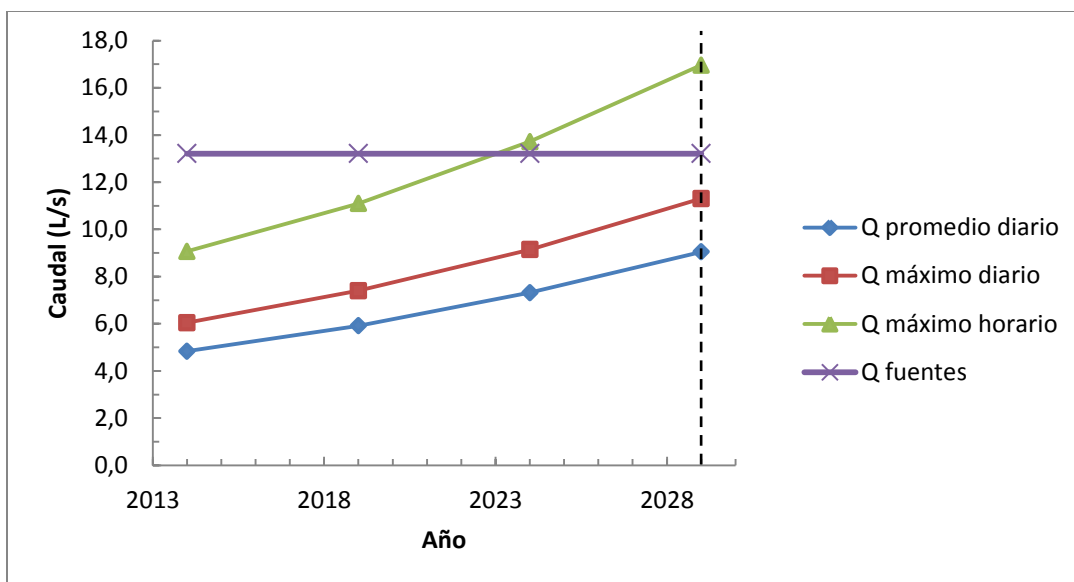


Figura 57. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario A, metodología López (2003). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.

3.6.1.5.2. Escenario B: No hay reducción en el porcentaje de pérdidas, durante el periodo de diseño.

Cuadro 33. Proyección de las dotaciones en el periodo de diseño para el escenario B; metodología López (2003).

Año	Población	Incremento en consumo por alojamiento		Consumo (L/habitante*día)			
		%	L/día	Neto	% de pérdidas	Total	Adoptado
2014	433	--	--	580	40	965	965
2019	565	11,2	94,9	589	40	982	980
2024	735	11,2	105,5	600	40	999	1000
2029	959	11,2	117,3	611	40	1019	1020

Cuadro 34. Proyección de caudales en el periodo de diseño para el escenario B; metodología López (2003).

Año	Población	Consumo total (L/(persona*día))	Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
2014	433	965	4,8	6,0	9,1
2019	565	980	6,4	8,0	12,0
2024	735	1000	8,5	10,6	16,0
2029	959	1020	11,3	14,2	21,2

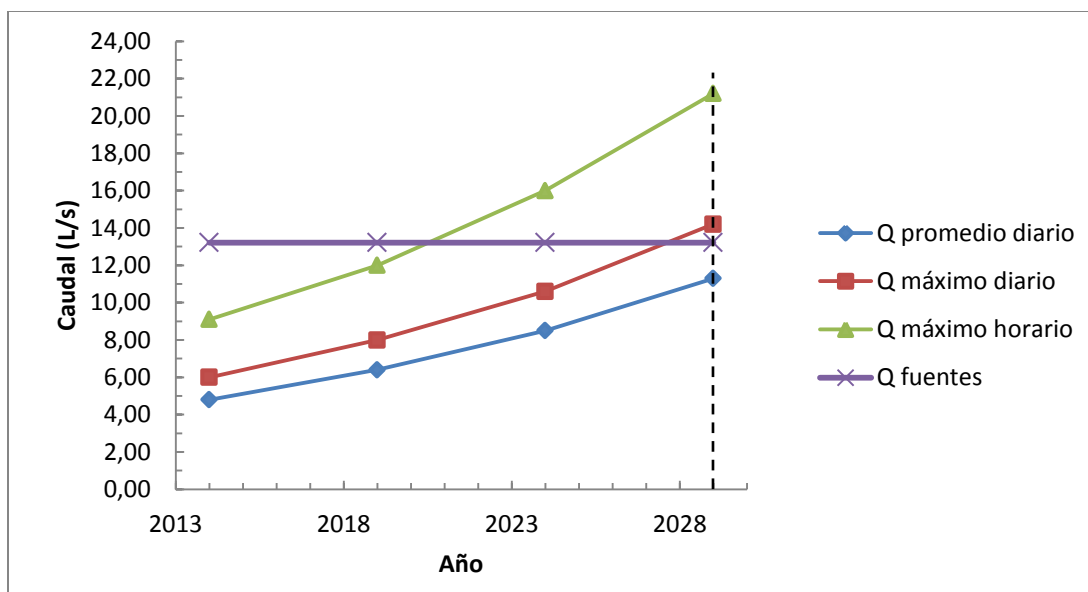


Figura 58. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario B, metodología López (2003). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.

Según se observa en la Figura 57, se llegaría al final del periodo de diseño sin presentarse escasez del recurso hídrico, con un excedente de 1,91 L/s; esto siempre y cuando se implementen medidas para reducir el porcentaje de pérdidas en el sistema.

La Figura 58 muestra por el contrario, que al acercarse al final del periodo de diseño, antes de 2028, se presentarían problemas de escasez de agua, con un déficit de 1 L/s al final del periodo.

3.6.2. METODOLOGÍA AYA

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la estimación de la demanda de agua según esta metodología.

3.6.2.1. Población actual

A partir del catastro o conteo de viviendas realizado en Agujitas se obtuvo un total de 129 casas. La cantidad de casas equivalentes fue de 92,25 (Cuadro 35), para un total de 221,25 casas.

Cuadro 35. Cálculo de casas equivalentes; metodología AyA (2011).

Tipo de prevista	Cantidad	Consumo equivalente	Casas equivalentes
Cabinas ^a	29	0,5	14,5
Hoteles ^b	47 (habitaciones)	0,5 /habitación	23,5
Negocios ^c (pulpería, soda, etc.)	21	1	21

Continuación Cuadro 37.

Tipo de prevista	Cantidad	Consumo equivalente	Casas equivalentes
Oficinas ^d	4	1	4
Restaurantes	9	2	18
Plaza, bodega, estación de servicio, recibidor.	1	1	1
Parque, comedor escolar, iglesia	3	1	3
Cruz Roja, puesto de salud ^e	1	2	2
Escuela de Drake ^f	--	--	2,5
Liceo de Drake ^f	--	--	2,75
TOTAL			92,25

- a. Asumiendo tres personas por cabina, con base en los datos mostrados en el Cuadro 27.
b. Asumiendo dos personas por habitación, con base en los datos mostrados en el Cuadro 27.
c. Se incluyen todos los comercios incluidos en el

- e. Cuadro 28 excepto Oficinas y Restaurantes.
- f. Incluye Fundación Corcovado y Escuela de Inglés Nature Kids.
- g. Correspondiente al EBAIS Drake.
- h. La norma indica que si son escuelas mayores a 30 alumnos, deben analizarse por aparte. Dicho análisis puede consultarse en el Apéndice 5.

La población actual se calcula con la siguiente fórmula:

$$Población\ actual = 5 * número\ de\ casas\ equivalentes.$$

Por lo tanto se tiene una población actual de 1106 personas.

3.6.2.2. Población de diseño

La población de diseño según la guía se calcula con la siguiente ecuación:

$$Población\ de\ diseño\ (habitantes) = Factor\ de\ crecimiento * Población\ actual$$

$$Factor\ de\ crecimiento = \left(1 + \frac{tasa\ de\ crecimiento}{100}\right)^n$$

Donde n es el periodo de diseño.

Para un periodo de diseño de 15 años, y un factor de crecimiento anual de 3,5% (según indica la guía), se obtiene una población de diseño de 1853 personas.

3.6.2.3. Dotación

La dotación a utilizarse debe ser obtenida a partir de los patrones de consumo y demandas de la localidad (registros históricos de consumo) y se le debe agregar al menos un 25% por concepto de agua no contabilizada. Según se concluyó en la sección 3.6.1.2.3, el consumo residencial en Agujitas es de 375 L/(hab*día) el cual es similar al establecido en el Manual Técnico de la Dirección de Agua del MINAE que establece que para zonas turísticas o costeras se adopte una dotación de 350 L/(hab*día) (*Manual Técnico del Departamento de Aguas, 2004*).

Agregándole un porcentaje de agua no contabilizada del 40%, la dotación obtenida es de 625 L/(hab*día)

3.6.2.4. Estimación de caudales

Los caudales de diseño deben calcularse de acuerdo con los siguientes factores de variación:

- ✓ Factor máximo diario: 1,25 (respecto al caudal promedio diario)
- ✓ Factor máximo horario: 1,50 (respecto al caudal máximo diario)

El caudal promedio diario se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q \text{ promedio diario (L/s)} = \left(\frac{\text{Población de diseño} * \text{Dotación}}{86400} \right)$$

Para poder graficar los distintos caudales en el periodo de diseño, de modo que pueda compararse con la metodología de López, se procede a calcular la población cada cinco años, con sus respectivos caudales: promedio, máximo diario y máximo horario. Al igual que se hizo con el primer método, se plantean dos escenarios, uno en que las pérdidas se reducen gradualmente de 40% a 25%, y otro en el que este parámetro no varía. El caudal asumido en las fuentes (13,21 L/s) y demás supuestos son los mismos.

3.6.2.5. Proyecciones de la demanda de agua y escenarios de disponibilidad.

3.6.2.5.1. **Escenario A:** Reducción del porcentaje de pérdidas de un 40% a un 25%, gradualmente durante el periodo de diseño.

Cuadro 36. Proyección de caudales en el periodo de diseño considerando una reducción en el porcentaje de pérdidas; metodología AyA (2011).

Año	Población	Consumo (L/persona*día)				Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
		Neto	% de pérdidas	Total	Adoptado			
2014	1106	375	40	625	625	8,0	10,0	15,0
2019	1314	375	35	577	580	8,8	11,0	16,5
2024	1560	375	30	536	535	9,7	12,1	18,1
2029	1853	375	25	500	500	10,7	13,4	20,1

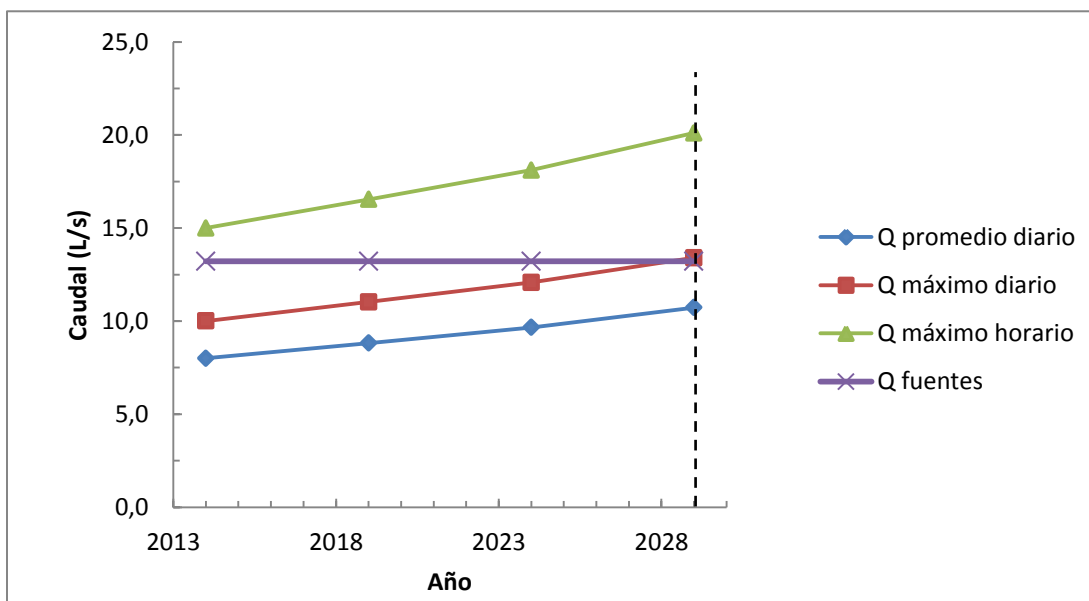


Figura 59. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario A, metodología AyA (2011). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.

3.6.2.5.2. Escenario B: No hay reducción en el porcentaje de pérdidas, durante el periodo de diseño.

Cuadro 37. Proyección de caudales en el periodo de diseño considerando un porcentaje de pérdidas constante; metodología AyA (2011).

Año	Población	Consumo (L/persona*día)				Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
		Neto	% de pérdidas	Total	Adoptado			
2014	1106	375	40	625	625	8,0	10,0	15,0
2019	1314	375	40	625	625	9,5	11,9	17,8
2024	1560	375	40	625	625	11,3	14,1	21,2
2029	1853	375	40	625	625	13,4	16,8	25,1

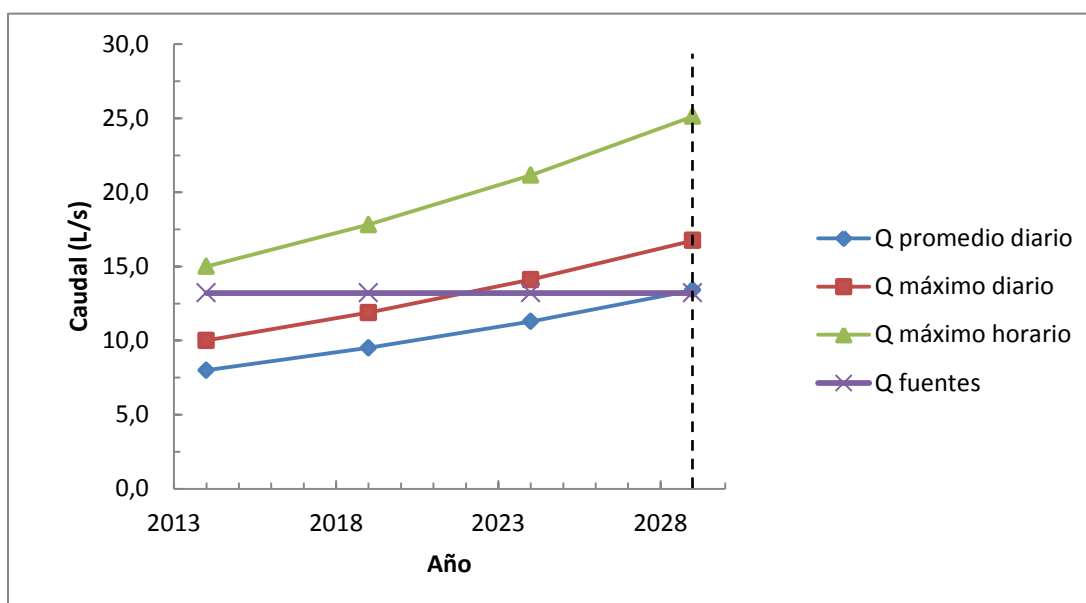


Figura 60. Balance oferta-demanda de agua en el periodo de diseño para el escenario B, metodología AyA (2011). La línea discontinua indica el final del periodo de diseño.

En la Figura 59 puede verse que aun disminuyendo el porcentaje de pérdidas, al final del periodo de diseño se presentaría un déficit de 0,2 L/s. En la Figura 60 se observa que prácticamente a partir de la mitad del periodo de diseño se presentaría un déficit que alcanzaría los 3,59 L/s al final del mismo.

Las proyecciones realizadas con ambas metodologías mostraron resultados bastante similares, siendo la metodología del AyA un poco más conservadora, pues ambos escenarios presentaron déficit. No obstante, y a pesar de que las proyecciones se basaron en algunos supuestos, apuntan a que es necesario implementar medidas que incluyan pero no se limiten solamente a mejorar la gestión técnica y

comercial de la ASADA, para evitar futuros escenarios de escasez de agua ante el eventual crecimiento y expansión de una zona con gran potencial turístico como Agujitas.

Ante un posible escenario de escasez de agua es vital recopilar más información sobre la producción de agua en las fuentes, y además analizar qué factores podrían vulnerar el abastecimiento de agua en el largo plazo. En ese sentido, es preciso considerar los efectos que podría tener el cambio climático en Costa Rica y por supuesto en el área de estudio. Según autores como Alvarado et al. (2011, citado por MINAE & IMN, 2012) Costa Rica y en general toda Centroamérica es uno de los “puntos calientes” más prominentes en la zona tropical debido a la reducción de las precipitaciones en el trimestre junio-agosto, según observaciones históricas y simulaciones en más de 20 modelos globales. Sin embargo, esto no quiere decir que se esperarían condiciones más secas de forma homogénea en el país, de hecho, se presentarían extremos secos y lluviosos (MINAE & IMN, 2012).

Según el informe final de un proyecto sobre evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica realizado en 2012 (MINAE & IMN, 2012), se pronostican una serie de riesgos futuros dependiendo la región del país. Los siguientes son algunos de los riesgos que podrían afectar el abastecimiento de agua en Agujitas:

- ✓ Se espera un aumento en las precipitaciones durante todo el año al sur de la Fila Costeña (incluida la Península de Osa).
- ✓ Disminución de la lluvia en junio, aumentando la intensidad y duración del veranillo, en la vertiente pacífica.
- ✓ El periodo setiembre-noviembre se mantiene como el más lluvioso en la vertiente pacífica.
- ✓ De setiembre a diciembre, el cantón de Osa podría ser impactado por lluvias extremas.

Ante estas predicciones se hace apremiante la planificación y la implementación de medidas de adaptación como: mejoras en la gestión técnica del acueducto, generación de información sobre disponibilidad y monitoreo del recurso hídrico, educación y sensibilización de los usuarios del acueducto en aras de racionar los consumos, reformas en los sistemas tarifarios, aseguramiento de fuentes de financiamiento y apoyo institucional (MINAE & IMN, 2012). Otras estrategias complementarias podrían ser la implementación de planes de seguridad del agua, los cuales debido a su visión integrada y enfoque preventivo constituyen una herramienta robusta para el fortalecimiento de la ASADA.

3.7. PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y MEJORAS AL SISTEMA

3.7.1 Sistema de tratamiento o potabilización

Según se mencionó en el marco de referencia, no se debe abastecer agua que no ha sido tratada a menos que su calidad en la fuente sea potable. Con base en los resultados de la sección 3.5 se determinó que las fuentes de agua utilizadas por la ASADA no son potables, por lo que la implementación de un sistema de tratamiento resulta imperativa. En ese sentido, la elección del sistema debe basarse principalmente en criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental y en otras consideraciones mencionadas en la sección 1.2.

A pesar de las notables ventajas que tienen las plantas convencionales (Cuadro 2), no se recomienda la implementación de este tipo de sistema debido a la complejidad que implica. La necesidad de reactivos químicos (coagulantes, floculantes), su compra, transporte y almacenamiento serían costosos debido a la lejanía y el difícil acceso a Agujitas; el servicio técnico y compra de repuestos para los equipos también sería complejo. Por otro lado, a bajas concentraciones de turbiedad (como las encontradas en las fuentes) la eficiencia del proceso disminuye, por lo que se requeriría un mayor consumo de reactivos, generándose a su vez lodos (que calificarían como un residuo especial debido a la carga de metales) que tendrían de gestionarse de manera adecuada, por ejemplo en un relleno sanitario. Considerando que ya existen problemas de gestión con los residuos sólidos ordinarios en la localidad (Livenais, 2009), la gestión de los lodos complicaría aún más el panorama.

En cuanto a la posible implementación de un filtro lento de arena como tratamiento, podría ser una opción viable, pues los rangos de turbiedad en las fuentes mostraron ser menores a 50 UNT, valor que según se mencionó en la sección 1.2 (Cuadro 2) es admisible en un filtro lento. No obstante, rangos de ese orden pueden ingresar a un filtro lento de arena solo por periodos cortos (pocas horas, durante uno o dos días). De hecho, idealmente una fuente de agua que se pretenda tratar directamente por filtración lenta en arena, debe tener turbiedades del orden de 5 a 10 UNT (Spencer et al., Cleasby, Di Bernardo, citados por Galvis et al., 1999). Por otro lado, dadas las condiciones climatológicas de la localidad, mencionadas en la sección 2.1, son esperables inclusive 250 días de lluvia al año en el área de estudio (68% del año), siendo posible precipitaciones seguidas durante varios días. Esto podría causar colmatamiento prematuro en un filtro lento de arena. Una opción desde el punto de vista operativo consiste en cerrar el afluente al sistema de tratamiento durante los periodos de precipitación, sin

embargo esto implicaría la necesidad de reservar grandes volúmenes de almacenamiento para poder abastecer a la población durante todo el tiempo que duren las lluvias (mayor costo de inversión).

Los resultados obtenidos en la sección 3.5 indican que las fuentes de agua utilizadas por la ASADA de Bahía Drake presentan rangos bajos de turbiedad y coliformes fecales, situación que haría factible el tratamiento mediante un sistema FiME. Además, el pretratamiento con filtros de grava, propio de este tipo de sistema, amortiguaría los picos de turbiedad y color esperables durante los eventos de lluvia. La elección definitiva de una combinación de tratamiento FiME según el modelo de CINARA mencionado en la sección 1.2.1 podrá definirse una vez que se corrobore el parámetro de color real, y se amplíe la serie de datos de todos los parámetros mediante metodología de muestreo continuo del AyA (Anexo 6).

Cabe destacar que la recomendación de implementar un FiME se basa además en factores como la cercanía del área de estudio a varios ríos que podrían proveer los agregados para utilizar en el medio filtrante (arena, gravas), las alta eficiencia en la remoción de turbiedad y coliformes fecales en aguas con cargas mucho más altas que las estudiadas en esta investigación (Cuadro 3), y el hecho de que el mismo AyA recomienda la implementación de estos sistemas para tratamiento de aguas superficiales, pues se considera una tecnología aceptada.

Es importante mencionar que una vez definida la combinación del tratamiento FiME necesario, este podría construirse por etapas de forma que los costos de inversión inicial no sean tan altos, así por ejemplo, podría construirse en una primera etapa el FGD_i y el FLA (pensando en que operativamente el FGD_i tendría mayores ventajas inicialmente, pues funciona como un amortiguador de picos de turbiedad), y en una segunda etapa incorporar el FGA.

Como medida complementaria, es muy importante la instalación de un desarenador como pretratamiento para eliminar o reducir la presencia de sedimentos y sólidos discretos, además, se extendería la vida útil de las tuberías de conducción, al evitar que se sometan a abrasión excesiva.

En cuanto a los aspectos organizativos de la comunidad, es vital para el éxito de un proyecto como el reforzamiento del acueducto y la construcción de una planta de potabilización, que la comunidad se involucre y participe activamente concientizando el problema, siendo parte de la solución y apropiándose del proyecto mismo. No es factible un proyecto de tales magnitudes solamente impulsado por la junta directiva de la ASADA. En ese sentido se deben hacer encuentros o reuniones comunales donde se discuta sobre la dimensión del problema y la necesidad pronta de trabajar en su

solución. Asimismo invitar y mantener un contacto constante con representantes del AyA para que se demuestre un interés real que permee a nivel institucional.

3.7.1.1 Tecnologías de punto de uso

Debido a que la construcción de una planta de potabilización supondría un tiempo considerable (búsqueda de financiamiento, planeamiento, construcción, puesta en marcha), y dado a que existe una situación crítica en la calidad del agua abastecida, se plantea como alternativa el uso de tecnologías de punto de uso, las cuales son soluciones que se utilizan a nivel de cada vivienda.

En un estudio realizado por Sobsey et al. (2008), se evaluaron una serie de tecnologías de punto de uso tomando en cuenta parámetros como la capacidad de producción de agua potable, la calidad del agua producida, la facilidad del uso de la tecnología, el costo y la necesidad de repuestos. El resultado mostró que los *filtros de cerámica* y los *biofiltros de arena* eran las tecnologías más sustentables pues requerían comprarse solamente una vez, producían suficiente agua para las necesidades diarias de una vivienda, invirtiendo poco tiempo y esfuerzo, y conseguían ser utilizadas de forma masiva y continua. Ambas tecnologías lograban mejorar la calidad del agua y reducir los casos de diarrea en estudios epidemiológicos rigurosos, además estudios posteriores demostraron un rendimiento efectivo tiempo después de haber sido implementadas.

Existen fabricantes de filtros de cerámica en la región centroamericana que distribuyen este tipo de sistema, comercializado bajo el nombre de *Filtrón*^g. Con respecto a los biofiltros lentos, existe amplia información disponible en línea, incluso manuales para la fabricación de los mismos^h.

3.7.2 Mejoramiento y la planeación estratégica del abastecimiento de agua en agujitas

Con base en los resultados y el análisis realizado en las secciones 3.1 a la 3.6, se propone la siguiente lista de recomendaciones por eje temático, las cuales podrían contribuir a la planificación y mejora en la prestación del servicio de agua en Agujitas. Algunas de las recomendaciones se consideran prioritarias y se indican entre paréntesis (o en párrafo con sangría) como “Acción prioritaria a implementar en el corto plazo”.

^g Consultar la dirección: http://www.ideassonline.org/pdf/br_28_59.pdf

^h Consultar la dirección: <http://resources.cawst.org/es/node/6150>

3.7.2.1 Fuentes de agua

- No se recomienda la utilización de fuentes cuyos caudales son intermitentes, como es el caso de la fuente Don Carmen, sin embargo tampoco se debe descartar antes de realizar un análisis más detallado y una planificación de las fuentes que se van a aprovechar, pues eso podría afectar las condiciones de servicio actual.
- A pesar de que una fuente como la *Bijagua* parece tener caudales mucho mayores que las demás fuentes, y por lo tanto podría ser una opción “cómoda” de elegir desde el punto de vista de disponibilidad hídrica, debe tomarse en cuenta que se encuentra ubicada a una distancia considerablemente mayor, lo cual tendría implicaciones importantes en la operación y mantenimiento; además carece totalmente de infraestructura.
- Una de las mejores estrategias para facilitar el tratamiento del agua consiste en salvaguardar la calidad del agua en la fuente misma. Se propone tomar acciones preventivas en las microcuencas de las captaciones como la siembra de árboles y bambú a las márgenes de los ríos, y en el caso de laderas o taludes inestables, pueden sembrarse plantas como el vetiver (*vetiveria zizaniodes*) para estabilizar el suelo, previendo escenarios de lluvias extremas y así reducir el riesgo de deslizamientos que afecten las captaciones (Livenais, 2009). También debe identificarse otros peligros potenciales para las estructuras de captación y conducción como árboles inestables o ramas que requieran ser podadas; para ello se deberá hacer los trámites respectivos ante el SINAC.
- Instalar rótulos en las áreas de captación informando sobre existencia de dichas captaciones y la importancia de proteger el recurso hídrico.

3.7.2.2 Infraestructura y operación del acueducto

- Las captaciones o tomas actuales deberían sustituirse por obras diseñadas para tal fin, como por ejemplo las bocatomas de fondo, las cuales toman de la fuente solamente el caudal necesario y evitan el ingreso de sólidos como hojas, ramas, etc. en la conducción, mediante el uso de rejillas, elemento básico ausente en las captaciones actuales. Autores como López (2003) especifican el diseño de estas estructuras. Asimismo, debe analizarse con un criterio técnico el riesgo real de la captación Petrona ante eventos sísmicos, pues según cartografía se ubica sobre una falla tectónica.
 - Acción prioritaria a implementar en el corto plazo: para evitar el taponamiento u obstrucción frecuente de la tubería de captación en las tomas, debe instalarse un tipo de canasta que proteja la entrada del tubo y retenga hojas u otros objetos. Dicha canasta podría fabricarse con varillas de acero para construcción debidamente pintado con pintura anticorrosiva.
- Buscar los medios financieros para adquirir los terrenos circundantes a la fuente, principalmente de la fuente Petrona la cual se ubica en un área que podría experimentar expansión agrícola.
- Antes de realizar inversiones para el mejoramiento de las conducciones (por ejemplo instalación de accesorios, enterrado de tubería, etc.), debe analizarse y verificarse si las rutas trazadas actualmente son las más convenientes desde el punto de vista de eficiencia y minimización de riesgos. Se propone que un sitio ideal para la ubicación de una planta de potabilización, sería cerca del Tanque Bijagua, pues así se podría aprovechar la infraestructura existente, y se tendría una buena elevación con relación al pueblo. En ese sentido es necesario realizar levantamientos topográficos para verificar si las conducciones actuales (tanto de Petrona como de La Gringa) podrían conducir el agua hasta dicha ubicación, o si sería necesario construir las conducciones por rutas alternas. Es importante reiterar que las proyecciones de demanda de agua y el balance hídrico se realizaron considerando una captación del 90% del caudal en La Gringa, sin embargo, la nueva captación fue construida en un punto donde solo se capta alrededor de un 60% del caudal aforado (el aforo se realizó en dos afluentes que se unen para formar la quebrada La Gringa). Esta situación debe verificarse mediante un estudio hidráulico.
 - Acción prioritaria a implementar en el corto plazo: Reparación de la fugas con secciones de tubería nueva y uniones, no mediante inserción de estacas. Sujetar los tramos de las conducciones con cables de acero u otro material más resistente que el alambre de hierro

galvanizado, y en aquellos tramos donde sea frecuente la caída de ramas, instalar tubería de polietileno de alta densidad, la cual es más resistente.

- Una vez realizados los levantamientos topográficos, se recomienda verificar si la conducción de La Gringa efectivamente requiere bombeo, o si optimizando la conducción (mediante diseño hidráulico, instalación de accesorios y eliminación de fugas) podría conducir el agua por gravedad.
 - Acción prioritaria a implementar en el corto plazo: Mientras se continúe realizando bombeo, deben tomarse medidas para evitar el desabastecimiento manteniendo siempre agua almacenada en el tanque Bijagua. Una alternativa consiste en la instalación de un sistema de control de nivel en el tanque (con electrodos) para accionar la bomba cuando el tanque alcance niveles mínimos. Otra propuesta, que no requiera una inversión significativa consiste en contratar a una persona que se encargue de operar la bomba, de tal forma que se accione las veces necesarias durante el día para mantener el volumen de almacenamiento.
- Debe repararse la unión entre el tanque de PEAD y la tubería de rebose para evitar que el agua erosione y desestabilice el suelo, donde está instalado dicho tanque. También se debe dirigir la tubería de rebose cerca de la quebrada para evitar la erosión del talud sobre el que actualmente descarga. (Acción prioritaria a implementar en el corto plazo).
- Debe protegerse el tanque de almacenamiento del ingreso de personas o animales mediante una cerca o malla perimetral. Asimismo, se le debe dar mantenimiento al tanque, pintarlo, colocar candado en la tapa de inspección y generar una pendiente ligera sobre la losa del tanque para que el agua de la lluvia no se acumule y dañe la estructura paulatinamente. Como medida de corto plazo, debe instalarse una pequeña caseta para proteger el sistema de cloración actualmente instalado.
 - Acciones prioritarias a implementar en el corto plazo: Colocar candado en la tapa de inspección del tanque (de ser posible, sustituir tapa por una tapa sanitaria de material metálico, pintada con pintura anticorrosiva), construir una pequeña caseta techada y con candado, para proteger el sistema de cloración recientemente instalado por AyA (con espacio suficiente para que una persona pueda ingresar y dar el mantenimiento necesario). Buscar asesoría profesional para evaluar el funcionamiento del sistema de cloración y analizar el contenido de cloro residual en la red de distribución.
- En la red de distribución, deben evaluarse los distintos pasos sobre quebradas, de modo que si las longitudes lo permiten (igual o menor a 10 metros), se instalen tuberías auto soportantes de hierro

galvanizado (Acción prioritaria a implementar en el corto plazo) o pasos elevados según recomendaciones de Quesada (2013), para lo cual se requerirá consultar a un profesional competente (ingeniero/a civil/construcción). Además en la red principal hacia el noreste del pueblo, saliendo de Agujitas (cerca del punto 038 de la Figura 9), se debe evaluar la reubicación de la tubería que se encuentra suspendida en taludes inestables (Acción prioritaria a implementar en el corto plazo); se podría coordinar con las autoridades competentes (Municipalidad de Osa, MOPT) la implementación de medidas de mitigación en dichos taludes, que podría ser de bajo costo como siembra de vegetación como maní forrajero, u otro tipo de vegetación para estabilización de taludes (Livenais, 2009).

- Realizar inspecciones en las acometidas de casas, comercios y demás usuarios para detectar y reparar fugas. Asimismo se podrían sustituir paulatinamente dichas acometidas por tubería flexible o mangueras de PEAD, las cuales son menos susceptibles a rupturas o fugas, disminuyendo el riesgo por contaminación cruzada con aguas residuales.
- Una gestión a corto plazo mientras se implementan las mejoras en el acueducto, y que podría beneficiar a los usuarios del sector bajo (frente la playa) es la instalación de una válvula de limpieza al final del ramal, así se podrían eliminar los sedimentos y el material suspendido que parece acumularse en esa parte de la red, luego de fuertes aguaceros.
- Mediante criterio técnico, debe contemplarse la futura instalación de hidrantes en el pueblo.

3.7.2.3 Información sobre producción en las fuentes de agua

- Debe iniciarse lo más pronto posible un registro de aforos en las fuentes de agua para ir generando una serie de datos históricos y conocer las variaciones durante el año en la producción de agua (Acción prioritaria a implementar en el corto plazo). Estos aforos deberían realizarse con la mayor frecuencia posible, sin embargo desde un punto de vista de viabilidad, se propone que se realicen al menos quincenalmente. Dichos aforos podrían realizarse con correntómetros (molinetes) o flotadores (López, 2003). Otra alternativa consiste en recopilar datos hidrológicos de las estaciones meteorológicas más cercanas para poder realizar una modelación de las microcuencas hidrográficas.

3.7.2.4 Consumo de agua, educación y sensibilización

- Realizar campañas de educación y sensibilización para fomentar en la población un consumo racional del agua. Podría implementarse un plan para ofrecer aparatos sanitarios como inodoros o cacheras de bajo consumo mediante convenios con fabricantes, ofreciendo sistemas de pago por medio de la facturación.
- A pesar de que no es probable que a nivel doméstico haya mucha aceptación de otras opciones como la utilización de inodoros secos (que pueden reducir considerablemente el consumo de agua), podría trabajarse conjuntamente con los hoteles y cabinas de la zona y evaluar la implementación de estos sistemas.
- Promover instrumentos como los Certificados de Sostenibilidad Turística entre los hoteles y cabinas o el Programa Bandera Azul Ecológica, con el fin de fomentar una cultura ambientalmente responsable y mayor concientización sobre la importancia de preservar el recurso hídrico, tanto en la población local como en los turistas.
- Con el fin de facilitar el análisis del consumo de agua en futuros estudios y la planificación del acueducto, se recomienda que se realice un registro desagregado, por categorías, de los diferentes usuarios del acueducto. Asimismo llevar un control de la micromedición, verificando que los medidores no excedan su vida útil pues esto genera lecturas imprecisas.

3.7.2.5 Gestión de la ASADA (sugerencias basadas en Instrumento de Caracterización de ASADAs del AyA)

- Realizar gestión para la inscripción de la fuente La Gringa. Podría utilizarse la información generada en este informe para justificar las necesidades hídricas del aprovechamiento.
- Buscar mecanismos económicos y de financiamiento para progresivamente adquirir los terrenos donde se ubican las fuentes.
- Elaborar un registro de control y seguimiento de quejas, así como de las interrupciones en el servicio de agua.
- Realizar campañas ambientales.
- Realizar un estudio técnico para delimitar el área de protección de las fuentes, y eventualmente hacer esta demarcación.
- Realizar un registro de emergencias ocurridas, como derrumbes/deslizamientos, daños ocurridos a la infraestructura.

- Buscar asesoría para definir un protocolo de emergencias y capacitación del personal para atender ese protocolo.
- Asegurar los activos de la ASADA.
- Análisis y ajuste de las tarifas.

4. CONCLUSIONES

El acueducto de la ASADA de Bahía Drake constituye un sistema que actualmente no es sustentable pues carece de tratamiento, no cumple la normativa nacional en cuanto a calidad de agua para consumo humano y satisface parcialmente las expectativas de los usuarios.

Existe un riesgo futuro de contaminación en la fuente Petrona pues la misma se encuentra en una zona en la que se permiten muchos usos de suelo, entre ellos el agrícola.

La infraestructura general del acueducto es muy vulnerable, situación que se evidencia en los resultados de evaluaciones. El Instrumento SERSA del Ministerio de Salud mostró un nivel de riesgo alto en todos los elementos evaluados (tomas, conducciones, almacenamiento y distribución), y en el Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA clasificó la ASADA de Bahía Drake como ASADA C o Frágil (porcentaje obtenido de 44,8%).

Un aspecto que merece especial atención corresponde a las conducciones, pues el aforo volumétrico realizado en La Gringa sugiere pérdidas cercanas al 66 por ciento. Esta situación debe verificarse mediante más mediciones, sin embargo señala la carencia de un diseño hidráulico e infraestructura adecuadas.

La encuesta aplicada a los usuarios del acueducto indicó que las principales características presentes en el agua distribuida son sedimentos, turbiedad y sólidos discretos (como fragmentos de hojas o similares), y que dichas características predominan en la época lluviosa.

El tiempo en que el agua se restablece a su calidad usual según respondió la mayoría de los encuestados varió en un rango de entre dos a cuatro horas luego de finalizada la lluvia, información que puede ser útil en los aspectos operativos del futuro sistema de potabilización.

El análisis de la encuesta evidenció interrupciones prolongadas durante el día en la parte alta y media de la red (Figura 38) a causa probablemente del alto consumo de los usuarios de la parte más baja (Figura 39). Parece ser que estos últimos no tienen tantos problemas en la continuidad del servicio. Los datos sugieren además, que el sector ubicado al noreste del pueblo (Figura 40) tiene las mejores condiciones de presión y continuidad, probablemente debido a la conexión directa de la conducción Petrona a la tubería que abastece esa zona.

Al análisis de calidad de agua en la red de distribución mostró que el agua no es potable desde el punto de vista microbiológico. Esta situación expone de forma inminente a la población de Agujitas a enfermedades infecciosas como diarreas o parasitosis, las cuales son comunes según el servicio de salud

local. No obstante, dicha contaminación fecal no puede atribuirse solamente a la calidad del agua, pues podrían darse situaciones de contaminación cruzada debido a las condiciones de saneamiento del lugar.

Los análisis físicoquímicos y microbiológicos realizados en las fuentes de agua indicaron rangos bajos de coliformes fecales y turbiedad, de acuerdo con el modelo para la selección de sistemas FiME de CINARA. Además, parece ser que independientemente de la época del año, las fuentes presentan bajas turbiedades, inclusive en el escenario crítico (con lluvias), por lo que el tratamiento por tecnología FiME se muestra muy promisorio. No obstante, para elegir una combinación definitiva de pretratamiento (FGA) se requiere verificar el color real mediante nuevos análisis, así como realizar dos muestreos continuos según metodología del AyA para confirmar los resultados de esta investigación.

El índice de calidad de agua NSF calculado para la fuente La Gringa mostró una mediana calidad. El análisis individual de los parámetros, tanto para La Gringa como para Petrona mostró mucha similitud en general, presentándose altos valores de DBO, lo cual es muy inusual considerando la intervención prácticamente nula de las microcuencas. Esto podría estar relacionado con los altos niveles de color aparente detectados, situación que amerita un análisis futuro. No obstante en otros parámetros incluidos en el cálculo del índice de calidad de agua (pH, temperatura, turbiedad, sólidos disueltos totales) se obtuvieron valores incluso conformes con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, situación que evidencia una buena calidad de aguas crudas.

El consumo de agua a nivel residencial mostró ser muy alto, considerando que el promedio de personas por vivienda es de menos de tres personas (2,59) y que según la encuesta, la mayoría de las casas cuenta con pocos aparatos sanitarios. Esto podría deberse a prácticas de desperdicio entre los usuarios, posibles fugas en las instalaciones hidráulicas de las viviendas o incluso usos no residenciales en un medidor registrado como tal. También es probable que debido a la mala calidad del agua durante la época lluviosa, los usuarios dejen abiertos los grifos para eliminar el agua sucia de la tubería, aumentando considerablemente el consumo de agua.

La proyección de demanda de agua con la metodología López modificada por el autor, mostró que antes de finalizar el periodo de diseño se presentaría un déficit de agua si no se implementan medidas para reducir el porcentaje de pérdidas. Las proyecciones consideraron una ocupación del 100 por ciento en hoteles y cabinas abastecidos exclusivamente por la ASADA, y aunque dicho escenario no se presenta durante todo el año, sí puede darse durante la época seca, entre diciembre y abril, y también en los meses de julio y agosto, periodos de mayor ocupación según opinión de algunos propietarios o administradores de los hoteles.

El método de proyección del AyA, aunque más simple, mostró resultados similares a las proyecciones del método López pero más conservadores, pues en ambos escenarios, ya sea reduciendo el porcentaje de pérdidas o no, se presentaría un déficit de agua.

Los resultados de las proyecciones muestran que podría presentarse escasez del recurso hídrico en Agujitas, pues aun en el único escenario donde no se da escasez (escenario A del método López), el excedente de agua es poco. Por ello es vital que se cuente con información real tanto del consumo como de los caudales en las fuentes, tarea que debe ir de la mano con medidas como el fortalecimiento de la gestión técnica y comercial, la protección de las fuentes de agua y la educación y sensibilización de los usuarios para que se haga un uso responsable del agua, de forma que se reduzca poco a poco el consumo irracional.

Por otro lado, es importante aclarar que las demandas que se proyectaron no se están sugiriendo como caudales de diseño, simplemente pretenden advertir sobre posibles escenarios futuros. Las pérdidas y el consumo o demanda real deben analizarse por medio de una auditoría volumétrica y compararse con los resultados de esta investigación antes de definir finalmente caudales de diseño, en ese sentido, las mejoras en la infraestructura indudablemente contribuirán a disminuir la demanda de agua.

5. RECOMENDACIONES

5.1. SUGERENCIAS PARA ESTUDIOS FUTUROS

- ✓ Realizar un levantamiento topográfico y cartográfico de todo el sistema de abastecimiento de agua.
- ✓ Evaluar la capacidad de almacenamiento actual del Tanque Bijagua en relación con el consumo actual y futuro de Agujitas.
- ✓ En caso de realizar una encuesta, se recomienda que esta sea probada en una población similar antes de aplicarla, para advertir detalles que se hayan pasado por alto o evaluar el grado de comprensión del instrumento por parte del encuestado.
- ✓ Tomar muestras en las fuentes para análisis de coliformes fecales durante condiciones de lluvia. Así como volver a realizar muestreos para análisis de color real.
- ✓ Calcular índices de calidad de agua en las diferentes fuentes, en ambos escenarios, con lluvia y sin lluvia.
- ✓ Medir un consumo real mediante la instalación de macromedidores en las entradas de agua a la red de distribución. Realizar una proyección y comparar los datos obtenidos con las proyecciones de la presente investigación.
- ✓ Realizar una auditoría volumétrica para conocer las pérdidas reales de agua que se dan en el sistema. La medición de los caudales captados (producción de agua) puede realizarse indirectamente empleando manómetros instalados en las tuberías de conducción (tomando lecturas de presión). Esto evitaría el problema de las altas presiones que imposibilitan la medición vía método volumétrico.
- ✓ En caso de que los valores de color verdadero mostraran resultados altos y sea necesaria la construcción de una planta piloto, se puede utilizar como referencia las experiencias de Vega (2013), quien evaluó sistemas FiME a pequeña escala, construidos con materiales de fácil adquisición y manejo, como barriles y tinas plásticas.

REFERENCIAS

- Álvarez, E. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la gestión técnica de la red de distribución de un acueducto con base a los indicadores de desempeño para servicios de abastecimiento de agua*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- American Water Works Association. (2007). *AWWA Manual, Volume 50 : Water Resources Planning (2nd Edition)*. Denver, CO, USA: American Water Works Association.
- Barrios, C., Torres, R., Lampoglia, T., & Agüero, R. (2009). Guía de orientación en saneamiento básico. Retrieved March 15, 2014, from http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#2.3_____Principales_sistemas_rurales_de_abastecimiento_de_agua
- Davis, H. C. (1995). *Demographic Projection Techniques for Regions and Smaller Areas : A Primer*. Vancouver, BC, CAN: UBC Press. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/itcr/docDetail.action?docID=10141327>
- Edzwald, J. K. (Ed.). (2011). *Water quality and treatment*. McGraw-Hill.
- Edzwald, J., & Tobiason, J. (2011). Chemical principles, source water composition, and watershed protection. In *Water quality and treatment. A handbook on drinking water*. McGraw-Hill.
- Elder, D., & Budd, G. (2011). Overview of water treatment processes. In *Water quality and treatment. A handbook on drinking water*. McGraw-Hill.
- Fundación Chile, & - CONAMA. (n.d.). Tecnologías de coagulación y/floculación. Retrieved April 10, 2014, from http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_05.pdf
- Galvis, G., Latorre, J., & Visscher, J. T. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas: Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Agua*. Cali, Colombia: CINARA.
- García Quevedo, T. V. (2012). *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile*. Universidad de Chile. Retrieved from http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf?sequence=1
- Giné-Garriga, R., de Palencia, A. J.-F., & Pérez-Foguet, A. (2013). Water-sanitation-hygiene mapping: an improved approach for data collection at local level. *The Science of the Total Environment*, 463-464, 700–11. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.005
- Google Maps. (2014). Fotografía aérea de Bahía Drake.
- HACH. (n.d.). Oxygen, Dissolved for water, wastewater and seawater. Retrieved from <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CEsQFjAD&url=http://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984251&ei=ujREU->

SBDsnk0gHd3YcGg&usg=AFQjCNFgKQsL3VrIMEe5mICuQm9g5jTchw&sig2=0vwGy4DPX
PCvdDYCA9nnuQ&bvm=bv.64367178,d.dmQ

- ICT. (2010). Visita de residentes y no residentes a las Áreas Silvestres Protegidas 2002-2009. Retrieved March 12, 2014, from http://www.visitcostarica.com/ict/backoffice/treeDoc/files/Visita_Areas_Silvestres_Protegidas_2002-20091.pdf
- ICT. (2013). Visitantes residentes y no residentes a las Áreas Protegidas 2010-2012. Retrieved March 12, 2014, from http://www.visitcostarica.com/ict/backoffice/treeDoc/files/Visita_Areas_Silvestres_Protegidas_2010-20121.pdf
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (n.d.). Instrumento para caracterización de ASADAs.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2011). Criterios para el diseño de acueductos rurales.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2009). Atlas climatológico de Costa Rica.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2008). Atlas Digital 2008.
- Ley Forestal (1996). Costa Rica: La Gaceta N° 72 del 16 de abril de 1996. Retrieved from http://www.cne.go.cr/cedo_dvd5/files/flash_content/pdf/spa/doc387/doc387-contenido.pdf
- Ley General de Salud (1973). Costa Rica. Retrieved from <http://www.geosalud.com/leyes/leygeneralsalud.htm>
- Livenais, J.-B. (2009). *Caracterización de las fuentes de contaminación de las aguas litorales de Playa Colorada, Bahía Drake, Península de Osa, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- López, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (Segunda ed., p. 546). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Manual Técnico del Departamento de Aguas (2004). La Gaceta N° 98 del 20 de mayo de 2004. Retrieved from <http://www.dse.go.cr/es/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Ambiente/Aguas/ManualTecnicoDpto.pdf>
- Mihelcic, J. R. (2009). *Field Guide to Environmental Engineering for Development Workers: Water, Sanitation, and Indoor Air*. American Society of Civil Engineers.
- MINAE, & IMN. (2012). *Mejoramiento de las capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica, como*

mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el Índice de Desarrollo Humano (p. 46).

- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [recurso electrónico] : TÍTULO B. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Salud. (n.d.). Metodología estandarizada SERSA (Sistema estandarizado de regulación de la salud) - Agua para consumo humano.
- Mora, A. V., Portuguez, C., & Mora, D. (2012). Agua para consumo y saneamiento: Situación de Costa Rica en el contexto de Las Américas 1961-2011. Retrieved March 01, 2014, from http://www.paho.org/cor/index.php?gid=219&option=com_docman&task=doc_view
- Morató, J., & Gris, A. (2009). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Red Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 13.
- Municipalidad de Osa. (n.d.). Reglamento Zonificación de Uso de Suelo, Renovación y Vialidad. PLAN REGULADOR COSTERO DE OSA. Retrieved March 07, 2014, from http://www.gobiernolocalosa.go.cr/plan_regulador.htm
- National Institutes of Health. (2012). Forúnculos: MedlinePlus enciclopedia médica. Retrieved May 16, 2014, from <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001474.htm>
- National Research Council Staff. (1996). *Safe Water From Every Tap: Improving Water Service to Small Communities* (p. 228). Washington DC, USA: National Academy Press. Retrieved from <http://ezproxy.itcr.ac.cr:2053/lib/itcr/docDetail.action>
- OMS, & UNICEF. (2013a). *JMP report 2013: Progress on sanitation and drinking-water*. Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/81245/1/9789241505390_eng.pdf?ua=1
- OMS, & UNICEF. (2013b). Types of drinking-water sources and sanitation. Retrieved February 27, 2014, from <http://www.wssinfo.org/definitions-methods/watsan-categories/>
- ONU. (2011). Millenium Development Goals Indicators. Retrieved from <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Search.aspx?q=Costa+Rica&Provider=Data>
- ONU. (2014). Objetivos del Milenio de las Naciones Unidas. United Nations. Retrieved February 27, 2014, from <http://www.un.org/millenniumgoals/environ.shtml>
- OPS, & CEPIS. (2005). GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/174esp-diseno-FiME.pdf>
- Oram, B. (2013). Water Quality Index Calculator. Retrieved April 08, 2014, from <http://www.water-research.net/watrqualindex/waterqualityindex.htm>

- Programa Estado de la Nación. (2013). *Capítulo 4: Armonía con la Naturaleza - XIX Informe sobre el Estado de la Nación*. Retrieved from http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/019/Cap 4-Estado Nacion 19.pdf
- Quesada Rojas, J. D. (2013). *Análisis y proyecciones de los sistemas de abastecimiento de agua potable de las comunidades del distrito de Santiago del cantón de Paraíso de Cartago*. Universidad de Costa Rica.
- Reents, N. W. (2003). *DESIGN OF POTABLE WATER SUPPLY SYSTEMS IN RURAL HONDURAS*. MICHIGAN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY. Retrieved from <http://www.mtu.edu/peacecorps/programs/civil/pdfs/nathan-reents-thesis-final.pdf>
- Reglamento para la Calidad del Agua Potable (2005). Costa Rica: La Gaceta N° 84 del 3 de marzo de 2005.
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería E Investigación*, 27(3), 172–181. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Sánchez, L. D., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2007). Filtración en Múltiples Etapas. Retrieved April 03, 2014, from <http://www.irc.nl/page/32361>
- Schultz, C., & Okun, D. (1990). *Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo* (Primera Ed.). México D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Colombia: Ediciones de la U.
- Smith, S. K., Tayman, J., & Swanson, D. A. (2001). *State and Local Population Projections: Methodology and Analysis*. Hingham, MA, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Sobsey, M. D., Stauber, C. E., Casanova, L. M., Brown, J. M., & Elliott, M. A. (2008). Point of Use Household Drinking Water Filtration: A Practical, Effective Solution for Providing Sustained Access to Safe Drinking Water in the Developing World. *Environmental Science & Technology*, 42(12), 4261–4267. doi:10.1021/es702746n
- Stambuk-Giljanovic, N. (1999). Water quality evaluation by index in Dalmatia. *Water Research*, 33(16), 3423–3440. doi:10.1016/S0043-1354(99)00063-9
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. C., & Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería E Investigación*, 30(3), 86–95. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n3/v30n3a07>
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO / WATER QUALITY INDEX IN SURFACE SOURCES USED IN WATER PRODUCTION FOR HUMAN CONSUMPTION . A CRITICAL REVIEW. *Revista Ingenierías -*

Universidad de Medellín, 8(15), 79–94. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

UNICEF. (n.d.). UNICEF India - Water, environment and sanitation. Retrieved February 28, 2014, from <http://www.unicef.org/india/wes.html>

Vargas, L. C. de. (2000). Tecnología CEPIS para el tratamiento de agua: estado actual. Retrieved April 03, 2014, from <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt052.html>

Vega, H. (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 Manizales. Retrieved from http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/151/1/402_Vega_Serrano_Haimar_Ariel_2013_Documento.pdf

APÉNDICES

Apéndice 1: Cuadro resumen de los principales procesos unitarios empleados en el tratamiento del agua para consumo humano

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Aeración y separación por aire	Proceso de transferencia de gas utilizado para introducir oxígeno y facilitar la oxidación de contaminantes como hierro y manganeso, así como para remover algunos sabores/olores y gases disueltos como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono. La separación por aire se ha utilizado para remover COVs (compuestos orgánicos volátiles) en agua subterránea contaminada.
Oxidación química	Los métodos de oxidación buscan llegar a un resultado deseado de agua tratada ya sea directamente o en una etapa (como eliminación de sustancias que causan olor o color mediante aplicación de ozono), o en un proceso de múltiples etapas (p.ej. oxidación de formas reducidas de hierro y manganeso a estados más oxidados que precipitan y pueden posteriormente ser removidos). Algunos de los oxidantes químicos más utilizados son: <u>Cloro</u> (ampliamente utilizado como desinfectante, disponible comercialmente en muchas formas: cloro gaseoso, en forma acuosa como el hipoclorito de sodio, en forma sólida como el hipoclorito de calcio y más recientemente, obtenido mediante electrólisis a partir de sal), <u>permanganato</u> (utilizado para remoción de hierro, manganeso, algunas sustancias causantes de olor/sabor), <u>ozono</u> (fuerte oxidante, efectivo para eliminación de color y un amplio espectro de sustancias causantes de olor y sabor, conversión de materia orgánica natural en formas más fácilmente removibles por filtración biológica), <u>dióxido de cloro</u> (alternativa al cloro que reduce la producción de subproductos de desinfección), <u>oxidación avanzada</u> (procesos en los que se utilizan radicales libres altamente reactivos como el hidroxilo, utilizando procesos como radiación UV y peróxido de hidrógeno). El resultado obtenido con el uso de estos oxidantes se ve influenciado por factores como pH, temperatura, dosis del oxidante, tiempo de reacción y presencia de sustancias interferentes.
Coagulación y floculación	Es un proceso fundamental utilizado en tratamiento de agua en todo el mundo, es comúnmente usado como pretratamiento para procesos de filtración rápida, pero también se ha acoplado a tecnologías más nuevas. El enfoque tradicional de la coagulación es facilitar la aglomeración de pequeñas partículas coloidales (que difícilmente sedimentan) en partículas más grandes que pueden ser físicamente removidas. Coagulantes normalmente utilizados incluyen el sulfato de aluminio y el cloruro de hierro. Normalmente la dosis óptima de coagulante se estima mediante la prueba de jarras. El pH es un factor crítico que determina el proceso. Algunos floculantes o coadyuvantes de coagulación se utilizan para “unir” partículas y aumentar el tamaño y la firmeza del flóculo, y facilitar su sedimentación, obteniendo tasas de filtración mayores.
Sedimentación y flotación	Estos procesos se clasifican como tecnologías de clarificación. Normalmente preceden a la coagulación. Ambos son procesos por gravedad; en la sedimentación la densidad de las partículas es mayor a la del agua, por tanto sedimenta, en el caso de la flotación, la densidad del agregado que se forma entre la burbuja y el flóculo es menor que la del agua y por tanto el agregado se eleva. Existen diferentes configuraciones para los procesos de sedimentación, siendo los más comunes la <u>sedimentación convencional de flujo horizontal</u> , la cual consiste en sedimentación simple en un tanque que normalmente requiere áreas mayores, o la <u>sedimentación de alta tasa</u> la cual involucra el uso de dispositivos que incrementan el área superficial efectiva, como el sedimentador de placas paralelas. Una alternativa a la sedimentación es la <u>flotación por aire disuelto (dissolved air flotation - DAF)</u> , la cual emplea aire presurizado formando grandes cantidades de burbujas finas, a las cuales se adhieren los flóculos provenientes del proceso de coagulación-floculación, llevados finalmente a la superficie.

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Filtración en medio granular	<p>Incluye sistemas de filtración convencionales como lechos granulares y filtros lentos.</p> <p>La filtración en lechos granulares es uno de los procesos más comúnmente utilizados; consiste en un filtro que contiene una cama de medio granular colocada en una capa de soporte sobre un falso fondo o bajo dren. Algunos medio filtrantes comúnmente utilizados son: arena, antracita, carbón activado granular. La configuración dual más común es la de antracita sobre arena fina. El flujo de estos filtros es descendente y requieren de un retrolavado periódicamente para eliminar partículas que se han acumulado en el medio granular durante la carrera del filtro.</p> <p><i>La filtración lenta</i> es similar a la filtración en medio granular pero difiere en cuanto a que las tasas de carga hidráulica son mucho menores y se utiliza un medio filtrante más fino. Gran parte de la remoción ocurre en una capa gelatinosa de carácter biológico normalmente conocida como <i>schmutzdecke</i> y en la porción superior de la cama de arena. Cuando las pérdidas de carga se vuelven excesivas, se raspa la parte superior del filtro y la <i>schmutzdecke</i> y se lava la arena; la periodicidad de ese mantenimiento será función del diseño del medio filtrante y de la calidad de agua que reciba el filtro (desde algunas semanas, hasta un año). Permite remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos.</p> <p>A pesar de que los procesos de filtración permiten clarificar el agua, su función principal es remover partículas que puedan tener patógenos microbianos.</p> <p>Actualmente son comunes tasas de filtración de 10-15 m/hora. Cualquier medio filtrante que no contenga cloro residual en su afluente, desarrollará actividad biológica la cual ayuda a la eliminación de materia orgánica biodegradable.</p> <p>Existen aplicaciones de filtración en medio granular sin un proceso previo de coagulación-floculación; a estos procesos se les llama <i>filtración directa</i> y en general se ha restringido a aguas de baja turbiedad. La filtración directa fue común en la década de 1960 y 1970, sin embargo es raramente utilizado hoy día debido a la preferencia por proveer múltiples barreras a los contaminantes.</p>

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Membranas	<p>Las membranas son barreras semipermeables que permiten el paso de ciertos materiales mientras evitan el paso de otros. Los dos grupos principales de procesos de membrana utilizados en tratamiento de agua son: (1) <i>Micro filtración</i> y <i>Ultra filtración (MF - UF)</i>, para la remoción de partículas y (2) <i>Ósmosis reversa</i> y <i>Nano filtración (OR - NF)</i>, para la remoción de materia disuelta.</p> <p>La MF y UF se pueden utilizar en lugar de la filtración en medio granular. Su uso en plantas de tratamiento municipales es relativamente novedoso, se utilizó por primera vez en 1994 en una planta municipal en California, E.E.U.U, y actualmente es una tecnología ampliamente conocida y utilizada, principalmente porque produce agua filtrada de baja turbiedad y por sus tasas de remoción de patógenos. A diferencia de los filtros de medio granular, la MF/UF no requiere etapas previas de acondicionamiento del agua debido a que es un proceso de tamizado físico. Speth <i>et al</i> (citado por Edzwald, 2011, pág. 5.14) mencionan que las membranas de MF/UF producen aguas de extremadamente alta calidad independientemente del tipo de membrana, fabricante, o si se usó o no un coagulante previo a la filtración, logrando turbiedades del orden de 0.06 – 0.08 UNT. También se ha demostrado que las membranas de MF/UF remueven efectivamente quistes de <i>Giardia</i> y ooquistes de <i>Cryptosporidium</i> en el orden de al menos 4 logaritmos, hasta 6 ó 7 logaritmos incluso.</p> <p>Los diámetros de poro en MF/UF se encuentran en los rangos de 0.1-0.5 μm y 0.01-0.1 μm respectivamente, y normalmente no logran retener contaminantes disueltos (a menos que se haga un proceso de conversión previo de esos contaminantes).</p> <p>Las membranas de MF/UF se utilizan con presiones típicas del rango de 4-35 psi y se fabrican de fibras de materiales poliméricos, montados en recipientes a presión. Estos sistemas requieren retro lavados frecuentes (dos o tres veces por hora), lavados químicos y pruebas de integridad (al menos una vez al día, para asegurar la remoción de patógenos). Debido a la complejidad operativa de estas membranas, usualmente se utilizan controladores automáticos.</p> <p>La filtración con OR/NF con procesos que se llevan a cabo a presión, para remover sustancias disueltas en el agua. Existen muchos usos o aplicaciones, siendo los más frecuentes la desalinización de agua de mar o fuentes salobres. Membranas de OR de baja presión, se utilizan típicamente para controlar constituyentes como: cloruro, sodio, dureza, nitrato, arsénico, sulfato, radio, así como otros iones, carbono orgánico disuelto (como color verdadero y precursores de subproductos de desinfección) y químicos agrícolas. Una diferencia clave entre OR y NF (la cual es una clase de membrana de OR) es que los porcentajes de remoción (rechazo de sustancias) es generalmente más bajo en membranas de NF. Tanto las membranas de OR como de UF no están diseñadas para remover turbiedad, por tanto el agua de alimentación de las membranas debe ser clara, con turbiedades inferiores a 0.5 UNT.</p> <p>Presiones de operación para plantas desalinizadoras por OR suelen encontrarse en el rango de 800-1000 psi (desalinizando concentraciones de 32000-45000 mg/L de sólidos disueltos totales).</p>

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Intercambio iónico y adsorción de contaminantes inorgánicos	<p>El intercambio iónico (II) se ha utilizado desde hace más de 100 años en procesos de ablandamiento (remoción de calcio y magnesio), a diferencia de los medios de adsorción de inorgánicos, de más reciente aplicación. Algunas aplicaciones de estos procesos incluyen la remoción de materia orgánica natural (que puede conducir a la formación de sub productos de desinfección). Los equipos para estos procesos incluyen lechos fijos y lechos fluidizados configurados en columnas que permiten el contacto con la corriente de proceso. La base del funcionamiento de II es la atracción de iones en disolución hacia sitios de carga opuesta en la superficie del medio. Muchos medios de II se fabrican como resinas orgánicas (existen medios inorgánicos como zeolitas naturales).</p> <p>La adsorción inorgánica se fundamenta en las interacciones químicas del constituyente a ser removido con los sitios activos en la superficie del medio; la afinidad química con los sitios activos es clave en este proceso (potencial de selectividad para contaminantes).</p> <p>La elección de un proceso se ilustra a continuación, comparando la remoción de arseniato y nitrato: El arseniato [(As(V))] puede ser removido por intercambio iónico, aunque también muestra afinidad por sales de aluminio e iones férricos (como la alúmina activada y medios férricos), sin embargo el nitrato no es removible por este tipo de medios adsorbentes, el II resulta más efectivo para su remoción.</p>
Precipitación química	<p>La precipitación química (PQ) es normalmente utilizada en tratamiento de agua potable para la remoción de dureza y metales pesados como hierro y manganeso, y contaminantes regulados como radio, uranio, fluoruro. Su principio es el siguiente: la precipitación ocurre cuando contaminantes disueltos en una disolución sobresaturada interaccionan hasta formar un sólido (equilibrio de solubilidad); un contaminante iónico puede removerse si la concentración de otro ion (de carga opuesta) se puede incrementar lo suficiente como para precipitar el ion contaminante de la disolución, formando un sólido iónico.</p> <p>La PQ es utilizada también como pretratamiento para procesos de desalinización. El ablandamiento con cal es la aplicación más común. Un proceso de ablandamiento típico incluye: floculación y sedimentación convencional y posterior al proceso de precipitación, un reajuste de pH (recarbonación) y filtración.</p>
Adsorción de compuestos orgánicos	<p>La adsorción con carbón activado es el método predominante para la remoción de contaminantes orgánicos, utilizado en sistemas de tratamiento municipales. Se ha utilizado por décadas para la remoción de compuestos que causan olor y/o sabor como la geosmina o el 2-metil isoborneol. Más recientemente, se ha utilizado para remover contaminantes orgánicos sintéticos, carbono orgánico disuelto y precursores de sub productos de desinfección. El carbón activado tiene una gran área superficial (típicamente 500-1500 m²/g) y sumado a sus propiedades químicas, se considera un adsorbente ideal, principalmente para compuestos hidrofóbicos de mediano o alto peso molecular. El carbón activado se produce en dos formas: carbón activado granular y carbón activado en polvo, con diferentes modos de uso o aplicación.</p>

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Sistemas naturales de tratamiento	<p>Los tratamientos naturales pueden complementar y mejorar los métodos tradicionales de tratamiento de agua al mejorar la calidad de la fuente de agua. Sistemas de tratamiento naturales como filtración a margen de río, almacenamiento y recuperación de acuíferos, han demostrado la habilidad de reducir turbiedades, patógenos, materia orgánica natural y en algunos casos contaminantes orgánicos, mediante procesos naturales de filtración subsuperficial de agua superficial.</p> <p>La filtración a margen de río (FMR) (<i>river bank filtration</i>) conocida también como infiltración inducida, se define grosso modo como el proceso de llevar agua superficial del lecho de un río o lago hasta pozos de extracción; durante su paso por arena subsuperficial y capas de grava, el agua es sometida a una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos como sorción, filtración, dilución y biodegradación, que pueden mejorar sustancialmente la calidad del agua. Dado que las concentraciones de contaminantes en aguas superficiales varían considerablemente, el tránsito subsuperficial del agua antes de su extracción sirve como barrera ante cargas críticas en el afluente de una planta de tratamiento, atribuible por ejemplo a la escorrentía estacional.</p> <p>El almacenamiento, recarga y recuperación de acuíferos (ARA) implica inyectar agua en el acuífero, con su subsecuente extracción durante periodos de alta demanda. Un enfoque común consiste en recolectar e inyectar agua de escorrentía en el acuífero durante periodos de mucha lluvia y luego extraer y tratar el agua durante periodos de estiaje (o cuando la capacidad de la fuente normalmente utilizada no es capaz de satisfacer la demanda). Los sistemas de ARA son diseñados para promover el flujo de agua a través del acuífero desde el punto de inyección hasta el punto de extracción, lo cual mejora la calidad por medio de mecanismos físicos, biológicos y/o químicos similares a los que ocurren en la FMR. Sin embargo no toda el agua inyectada es recuperada; son típicas tasas de recuperación del 30-80% del agua inyectada.</p>
Desinfección química	<p>La desinfección es un proceso fundamental para asegurar que no haya patógenos en el agua. Es un proceso que para ser efectivo debe acompañarse con procesos para la remoción de partículas, como un tratamiento de múltiples barreras contra las enfermedades transmitidas por el agua.</p> <p>Tradicionalmente se han utilizado desinfectantes químicos como el cloro. Aunque otras alternativas han surgido, es probable que los desinfectantes químicos se continúen utilizando debido a la necesidad de mantener un efecto residual en las redes de distribución.</p> <p>Algunos desinfectantes comúnmente utilizados incluyen el cloro libre, cloraminas, dióxido de cloro y ozono. La efectividad de los desinfectantes reside en su capacidad de reaccionar en sitios específicos de los microorganismos objetivos, sin embargo otras reacciones suceden paralelamente. La descomposición de los desinfectantes residuales sucede espontáneamente, y puede verse influenciada por factores como el pH, la temperatura o exposición a fuentes de luz, sin embargo no siempre ocurren estas reacciones y como resultado se generan productos indeseables, conocidos como subproductos de desinfección. Estas reacciones se dan con otros contaminantes que pueden presentarse en el agua, como la materia orgánica natural o compuestos inorgánicos reducidos, por tanto existe una fuerte relación entre la desinfección y los demás procesos del tratamiento. Algunos de los subproductos de desinfección más conocidos como resultado de la cloración son los trihalometanos; sin embargo cada tipo de desinfectante puede generar distintos subproductos.</p> <p>La desinfección tiene dos objetivos y se conocen como desinfección primaria y desinfección secundaria. La primaria se refiere a la inactivación de microorganismos patógenos durante el tratamiento (para inactivar un microorganismo determinado, se requiere de un tiempo de contacto T y una concentración del desinfectante C; usualmente se habla del producto de ambas como un referente según las necesidades de desinfección). La secundaria se aplica para proveer un desinfectante residual que proteja el agua en las redes de distribución, contra una posible intrusión de contaminantes. Existe preocupación sobre la resistencia a la desinfección que han mostrado patógenos como <i>Giardia</i> o <i>Cryptosporidium</i> y algunos virus, por tanto se ha investigado procesos de desinfección enfocados a estos microorganismos.</p>

Proceso de tratamiento	Características generales y aplicaciones típicas
Tecnologías UV	<p>La luz (radiación) ultra violeta se ha utilizado históricamente para desinfección de pequeños sistemas de agua subterránea y para desinfección de efluentes plantas de tratamiento de aguas residuales. La radiación UV inactiva a los microorganismos patógenos al romper sus cadenas de ADN. Se ha demostrado la reducción de 3 a 5 logaritmos de ooquistes de <i>Cryptosporidium</i> y quistes de <i>Giardia</i>.</p> <p>Algunas ventajas de los sistemas UV son: requieren poca área, costos iniciales y de operación relativamente bajos (en comparación con procesos comparables), altos niveles de inactivación de patógenos. Potenciales desventajas: ensuciamiento de las fundas de cuarzo de las lámparas, necesidad de reemplazo periódico de las lámparas, riesgo potencial de que las lámparas se quiebren (riesgo de contaminación por mercurio).</p>

Apéndice 2: Cálculo de índices de calidad de agua

Cálculo del ICA-NSF:

Este índice de calidad de agua considera los parámetros resumidos en el Cuadro 38 y los pesos relativos del Cuadro 39; para el cálculo propiamente del ICA, se utiliza un promedio geométrico ponderado.

Cuadro 38. Parámetros físico-químicos y microbiológicos medidos en muestras de agua tomadas en captaciones utilizadas por la ASADA de Drake, para cálculo de ICA. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC y el autor.

Parámetro	Unidades	Sitio de muestreo	
		La Gringa (Presión 752 mmHg)	Petrona (Presión 751,8 mmHg)
Oxígeno disuelto	mg/L	8,28 ^a	-
pH	Unidades de pH	7,09	7,15
DBO	mg/L	12,4	15,4
Nitrógeno total ^b	mg/L	<1,55	<1,55
Coliformes fecales	NMP/100 mL	460	43
Temperatura	°C	24,4	24,6
Turbiedad	UNT	2,39	2,52
Sólidos disueltos totales	mg/L	147	155
Fósforo total ^c	mg/L	<1,00 ^c	<1,00 ^c

- Valor obtenido por interpolación para obtener el OD a la temperatura in situ (a partir de mediciones de OD en laboratorio a diferentes temperaturas).
- Se utilizó el valor de nitrógeno total en lugar de nitratos.
- Se utilizó el valor de fósforo total en lugar de fosfatos.

Cuadro 39. Valores de calidad normalizados (*Q-values*), calculados mediante software y pesos relativos para el cálculo del ICA. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de análisis del CEQIATEC y el autor.

Parámetro	Peso relativo	Valor normalizado de calidad (valores de 0 a 100)	
		La Gringa	Petrona
% Saturación de oxígeno disuelto ^a	0,17	99	-
pH	0,11	90	91
DBO	0,11	27	19
Nitrógeno total	0,10	75 ^d	75 ^d
Coliformes fecales	0,16	29	54
Temperatura	0,10	93 ^b	93 ^b
Turbiedad	0,08	92	91
Sólidos disueltos totales ^c	0,07	77	78
Fósforo total	0,10	63 ^e	63 ^e

- Para obtener el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, se utilizó la tabla de un instructivo del fabricante de equipo analítico HACH (sin fecha), a partir de la presión atmosférica del sitio de muestreo y la temperatura del agua.
- Se asumió que no hubo cambio de temperatura
- Se utilizó la curva de Ott (1978) y Brown *et al* (1970) citado por Samboni, Carvajal & Escobar (2007).
- La curva de calidad para normalizar el valor de nitrógeno total fue la de (Stambuk-Giljanovic, 1999).
- La curva de calidad para normalizar el valor de fósforo total fue la de (Stambuk-Giljanovic, 1999)

Para la captación La Gringa, se obtiene un ICA-NSF de 63, correspondiente a una “Mediana calidad”.

Cálculo del ICA-Objetivo:

El ICA-Objetivo considera oxígeno disuelto, DBO y coliformes fecales. Los valores normalizados se obtienen a partir del Cuadro 38. El ICA-Objetivo propiamente, se calcula como un promedio aritmético ponderado.

Cuadro 40. Normalización de parámetros para el ICA-Objetivo. Tomado de: (García, 2012)

(ICA) _i	OD [mg/l]	DBO [mg/l]	CF [NMP/100ml]
1	OD > 5	DBO < 2	10 ⁰ ≤ CF ≤ 10 ³
2	3 < OD ≤ 5	2 ≤ DBO < 60	10 ³ < CF ≤ 10 ⁴
3	0 < OD ≤ 3	60 ≤ DBO < 100	10 ⁴ < CF ≤ 10 ⁵
4	OD = 0	DBO ≥ 100	CF > 10 ⁵

Cuadro 41. Valores normalizados de calidad para el cálculo de ICA-Objetivo. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Peso relativo	Valor normalizado de calidad	
		La Gringa	Petrona
Oxígeno disuelto	0,33	1	-
DBO	0,33	2	-
Coliformes fecales	0,33	1	-

Cuadro 42. Categorías de clasificación para el ICA-Objetivo. Tomado de: Sancha *et al* (2001), citado por García (2012)

Valor ICA	Calidad del Agua Superficial
1,0 ≤ ICA < 1,5	Alta. Apta para uso potable con filtración directa en lecho granular y desinfección. Uso en riego sin restricción.
1,5 ≤ ICA < 2,5	Media. Requieren procesos convencionales de coagulación, decantación, filtración y desinfección. Uso en riego restringido.
2,5 ≤ ICA < 3,0	Baja. Su uso potable requiere tratamientos avanzados (membranas, carbón activado y ozono) adicionales a los convencionales. Inadecuada para riego de hortalizas de consumo crudo.
3,0 ≤ ICA ≤ 4,0	Muy baja. No apta para ningún uso.

Para la captación La Gringa, se obtiene un ICA-Objetivo de 1,32. Según el Cuadro 42, corresponde a una calidad “Alta. Apta para uso potable con filtración directa en lecho granular y desinfección. Uso en riego sin restricción”.

Apéndice 3: Estimación de consumo doméstico, metodología López (2003).

La estimación del consumo residencial o doméstico se basó en los registros históricos de consumo de un grupo de 54 viviendas, proporcionado por la ASADA de Bahía Drake. Los datos considerados fueron las lecturas de micro medición tomadas entre setiembre de 2012 y setiembre de 2014. Para cada caso se calculó la media aritmética y la varianza. Se graficó la varianza de todos los usuarios para identificar valores extremos. En dicho gráfico (Figura 61), se observó una franja que agrupaba la mayoría de los datos con varianzas no superiores a 350, por otro lado también se identificaron claramente los casos con altas varianzas, los cuales se procedió a analizar individualmente. El análisis realizado fue el siguiente: (1) se graficó el consumo anual con el objetivo de identificar un comportamiento o tendencia clara; (2) si la tendencia era clara y existían datos con valores extremos, se procedió a eliminarlos; (3) se recalculó la media y la varianza, para verificar que la última se redujera al rango de la mayoría de los datos; (4) si al analizar gráficamente cada caso no era posible observar una tendencia clara, o por el contrario, se observaba más de una tendencia (debido probablemente a cambios en el número de ocupantes de la vivienda, casas de veraneo, etc.) se optó por eliminar la vivienda de la serie de datos. Al terminar el análisis, se volvió a graficar la varianza de cada vivienda, obteniéndose varianzas en el rango de 2,00 y 356,97 (media de 123,44). Finalmente, se calculó la media aritmética de la media anual de todos los usuarios (excepto los eliminados en el análisis) y por conversión se calculó la dotación en litros por persona por día, utilizando una población promedio por vivienda de 2,59; según último censo nacional (2011).

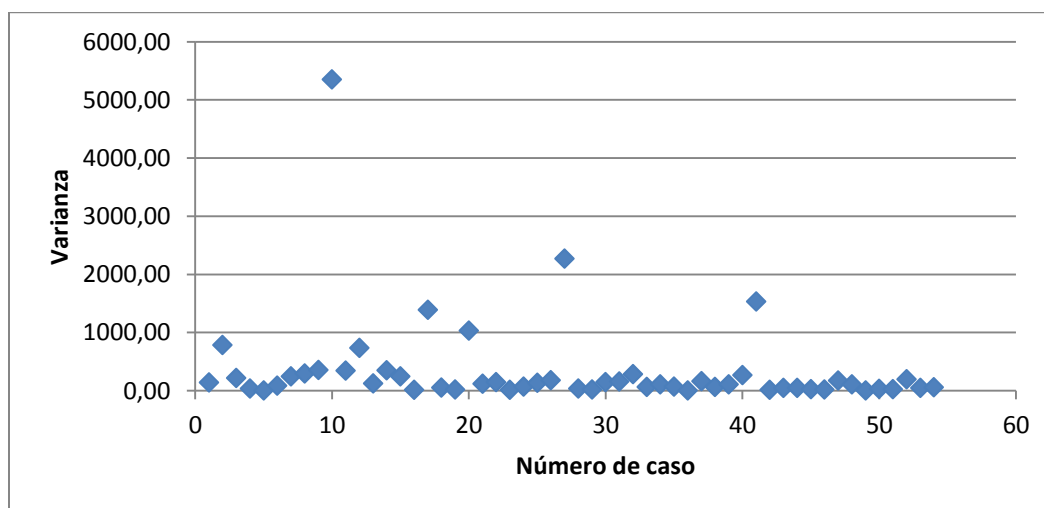


Figura 61. Gráfico de varianzas para el consumo anual de cada vivienda antes del proceso de análisis individual de casos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ASADA de Bahía Drake.

Cuadro 43. Históricos de consumo mensual de los usuarios considerados para la estimación del consumo residencial; los usuarios resaltados en rojo corresponden a los datos eliminados. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ASADA de Bahía Drake.

NOMBRE DE ABONADO	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	Promedio anual	Desviación	Varianza	Dotación
Melvin Marchena	16	16	5	54	24	31	22	13	15	19	18	16	11	20,00	12,01	144,17	257
Grisel Vargas	48	49	55	2	3	4	6	4	7	9	23	78	68	27,38	28,03	785,76	352
Geovanny Mora	44	7	27	20	24	32	20	19	24	51	42	41	0	27,00	14,78	218,33	347
Rolando Mora	31	34	32	21	22	22	20	16	21	25	17	20	31	24,00	6,01	36,17	309
José Segura	2	0	susp	susp	susp	susp	susp	susp	susp	susp	susp	susp	susp	1,00	1,41	2,00	13
Henry Mora	40	32	36	26	28	40	27	26	36	41	41	57	50	36,92	9,44	89,08	475
Luz Jiménez	0	0	susp	susp	54	5	0	5	6	3	1	3	4	7,36	15,62	244,05	95
Javier Mora	14	5	40	35	37	42	50	47	55	19	8	18	13	29,46	17,19	295,60	379
Félix Mosquera	82	71	100	83	79	71	64	34	52	84	48	61	44	67,15	18,89	356,97	864
Zaida Quirós (Verónica)	1	87	123	102	127	215	108	3	1	1	susp	susp	susp	76,80	73,14	5349,96	988
Carlos Santamaría	30	27	64	58	49	49	74	53	59	96	40	67	43	54,54	18,58	345,27	702
Yenny Blandón	20	3	17	9	28	30	83	83	7	3	7	25	15	14,91	9,87	97,49	192
Ramiro Murillo	38	35	53	35	16	35	63	33	37	38	29	42	44	38,31	11,25	126,56	493
Huberth Murillo	13	0	12	38	51	64	54	35	48	38	44	44	22	35,62	18,73	350,76	458
Julio Mora	22	38	52	49	53	48	41	38	58	54	9	70	42	44,15	15,68	245,97	568
Willy Atencio	11	10	14	11	14	15	15	13	16	22	19	17	21	15,23	3,75	14,03	196
Hilda Mendoza	50	69	160	75	35	33	36	27	38	32	18	30	27	39,17	17,16	294,33	504
María Dolores Fonseca	12	7	11	2	33	16	13	8	8	9	7	11	7	11,08	7,44	55,41	143
María Dolores Fonseca (Vincent)	13	7	12	23	6	9	10	10	10	11	8	13	8	10,77	4,27	18,19	139
Marielos Pizarro	99	65	71	92	91	128	176	110	77	100	63	99	55	86,70	16,47	271,34	1116
Karen Álvarez	66	44	69	70	62	74	66	53	66	58	42	78	57	61,92	10,83	117,24	797
Franklin Araya	39	36	48	65	53	67	66	67	60	53	56	50	31	53,15	12,13	147,14	684
Floribel Calvo	13	10	11	12	12	12	13	11	9	3	0	10	10	9,69	3,88	15,06	125
Erick González	23	20	17	12	10	4	1	1	3	4	0	0	0	7,31	8,22	67,56	94
Lucas Gómez	38	27	46	32	25	25	34	21	12	17	9	10	11	23,62	11,71	137,09	304
Francisco Segura	30	18	50	46	67	59	45	36	41	53	28	46	33	42,46	13,45	180,94	546
Fernando Chávez	0	1	16	109	121	9	15	12	3	susp	susp	susp	susp	31,78	47,63	2268,69	409

Continuación Cuadro 21.

NOMBRE DE ABONADO	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	Promedio anual	Desviación	Varianza	Dotación
El cielo S.A.	33	21	18	27	32	28	33	23	38	35	21	33	26	28,31	6,24	38,90	364
Emiliano Cambronero (casa)	16	14	17	18	20	17	19	13	22	21	13	30	16	18,15	4,56	20,81	234
Alexander Jiménez	50	60	60	46	52	69	74	61	71	68	39	76	78	61,85	12,25	149,97	796
Cindy Alvengor	53	62	47	44	47	52	47	41	35	28	22	22	29	40,69	12,56	157,73	524
Yenny Segura	10	9	19	73	21	16	12	11	12	16	9	14	14	18,15	16,89	285,14	234
Manuel Caravaca	2	2	1	0	1	6	13	15	18	21	14	19	17	9,92	8,02	64,24	128
Mainor Morales			38	45	57	63	67	50	50	69	40	50	45	52,18	10,53	110,96	672
Porfirio Solórzano			21	25	45	26	22	17	14	17	22	19	18	22,36	8,32	69,25	288
Pamela Nave				8	2	5	5	5	7	7	7	6	6	5,80	1,69	2,84	75
Nelson Brenes				57	27	28	31	20	16	19	12	16	21	24,70	12,82	164,46	318
Irma Espinoza									22	27	12	18	7	17,20	7,92	62,70	221
Leivin Jiménez									20	37	24	41	43	33,00	10,37	107,50	425
Elia González									49	58	23	31	21	36,40	16,36	267,80	468
Javier Jiménez									46	94	31	0	susp	57,00	32,91	1083,00	734
Gilberto Mendoza									5	10	9	15	14	10,60	4,04	16,30	136
Zobeida Mendoza									13	30	27	23	28	24,20	6,76	45,70	311
Luz Torres Blandón									13	29	18	28	20	21,60	6,80	46,30	278
Luz Torres									10	10	1	susp	susp	7,00	5,20	27,00	90
Victor Morales									21	12	12	9	15	13,80	4,55	20,70	178
Rafael Céspedes									16	36	34	9	9	20,80	13,29	176,70	268
Fania Jiménez									15	41	30	34	39	31,80	10,33	106,70	409
Mario Zúñiga										26	25	24	20	23,75	2,63	6,92	306
Amada Rojas										25	21	34	29	27,25	5,56	30,92	351
Alberto Ledezma										5	6	5	15	7,75	4,86	23,58	100
Eliza Mendoza										46	39	71	57	53,25	13,96	194,92	685
Emiliano González										42	31	47	38	39,50	6,76	45,67	508
Miguel Moreno										11	13	28	17	17,25	7,59	57,58	222
										Promedio usuarios				29,14	18,25	364,51	375,02

Apéndice 4: Estimación de consumo no residencial, metodología López (2003).

La dotación para cada uno de los criterios mencionados en el

Cuadro 28 se calculó de la siguiente forma:

- Norma AyA: La norma del AyA considera “consumos equivalentes a casas”, para los diferentes consumos típicos según lo indicado en el Cuadro 44.

Cuadro 44. Consumos equivalentes para diferentes tipos de prevista.
Tomado de: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2011)

TIPO DE PREVISTA	CONSUMO EQUIVALENTE
Escuela (30 alumnos o menos)	2
Parque, Comedor Escolar, Iglesia	1
Negocios (Pulpería, Soda, etc.)	1
Plaza, Bodega, Estac. de Servicio, Recibidor	1
Oficinas (Bancos, MAG, GAR)	1
Salón Comunal	3
Lotes	0.5
Restaurante Pequeño	2
Parcela	1
Cabina	0.5
Hotel	0.5/habitación
Cruz Roja, Puesto de Salud	2
Clínica	3

Dicha norma menciona que debe escogerse una dotación de acuerdo con el Cuadro 45.

Cuadro 45. Dotaciones para diseño de acueductos nuevos o mejoras en existentes. Fuente: Elaboración propia a partir de (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2011).

Escenario	Existen registro históricos de consumo	No existen registros históricos de consumo	
	Se cuenta con datos de los patrones de consumo y demandas de la localidad en estudio.	Acueductos pequeños (menores a 100 viviendas)	Acueductos con más de 100 viviendas; zonas semi-urbanas; zonas turísticas
Dotación a asignar	Utilizar datos reales.	150 L/p/día	180-300 L/p/día

De tal forma que tomando una dotación de 375 L/(persona*día) obtenida en la sección 3.6.1.2.3 y una población para la localidad en estudio de 2,59 personas por vivienda, se tiene que una “casa equivalente” correspondería a una dotación de 970 L/día.

Cuadro 46. Dotaciones utilizadas en la estimación de consumo no residencial.

Tipo de prevista	Consumo equivalente	Consumo (L/día)
Negocio (Pulpería, soda, etc.)	1	970
Oficina (Bancos, MAG, GAR, etc.)	1	970
Restaurante pequeño	2	1940
Plaza, bodega, estación de servicio, recibidor.	1	970

- Dotaciones estimadas por el autor: Se consideraron, al igual que en la estimación del consumo residencial, datos históricos de consumo de usuarios conocidos, utilizando el mismo procedimiento (Apéndice 3).

Cuadro 47. Dotaciones establecidas para usuarios conocidos.

Criterio	Consumo
Promedio de cabinas ^a	145 L/(huésped/día)
Hotel Caño Divers	257 L/(huésped*día)
Bar La Jungla	772 L/día
Tour operador "Kurt"	1217 L/día
Fundación Corcovado	233 L/día
Escuela Drake	42 L/(alumno*día) o 3680 L/día
EBAIS Drake	993 L/día
Iglesia cristiana	176 L/día
Liceo de Drake	4113 L/día

a. Se utilizaron los datos de Cabinas Miriam Murillo y Cabinas Manolos.

Apéndice 5: Análisis de consumo equivalente para Escuela de Drake y Liceo de Drake, metodología AyA (2011)

Según la Guía “Criterios para el diseño de acueductos rurales” del AyA (2011), cualquier escuela o colegio con más de 30 alumnos debe analizarse de forma independiente. A partir de los datos históricos de consumo, se tiene que la Escuela de Drake consume en promedio 110 m³/mes y el Liceo de Drake 123 m³/mes.

Con una dotación de 300 L/(hab*día) para zonas turísticas y un factor de hacinamiento de cinco personas por casa, de acuerdo con la guía se tiene lo siguiente:

$$\frac{300 L}{\text{habitante} * \text{día}} * \frac{5 \text{ habitantes}}{\text{casa}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{1 m^3}{1000 L} = \frac{45 m^3}{\text{casa} * \text{mes}}$$

Dividiendo cada uno de los consumos promedio de la Escuela de Drake y del Liceo de Drake entre el valor obtenido (45 m³/(casa*mes)), se tiene que el consumo de la Escuela de Drake equivale a 2,5 casas y el Liceo de Drake a 2,75 casas.

Apéndice 6: Catastro de viviendas y otros usuarios del acueducto de Bahía Drake

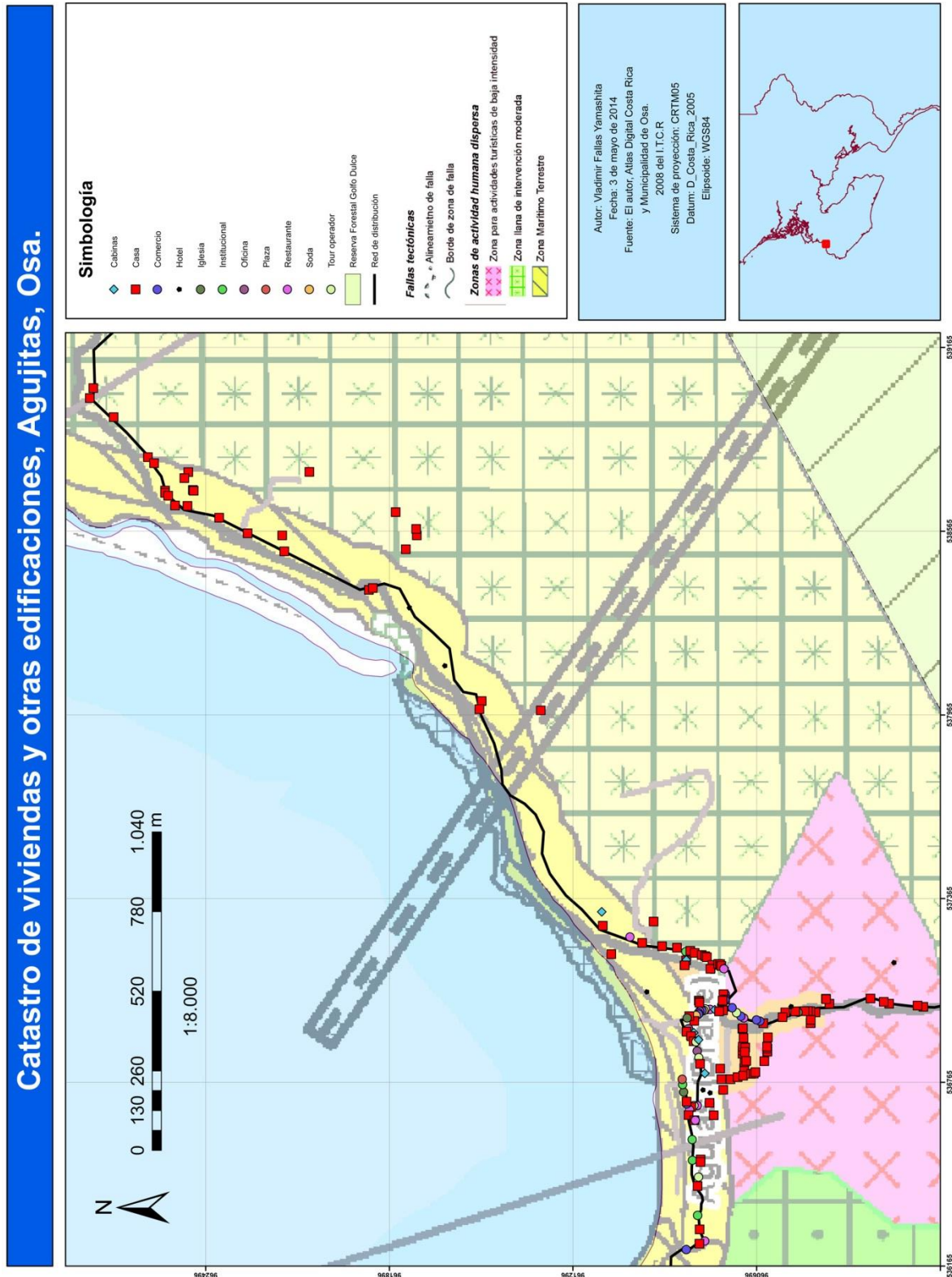


Figura 62. Mapa con la ubicación de las viviendas y demás edificaciones identificadas en Agujitas. Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7: Metodología estandarizada SERSA del Ministerio de Salud

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Nombre de la fuente: Petrona		
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SI	NO
1. ¿Está la captación fuera de un área protegida o zona de conservación?	X	
2. ¿Está la toma de agua desprovista de infraestructura que la proteja?	X	
3. ¿Está el área alrededor de la toma sin cerca?	X	
4. La toma de agua está ubicada dentro de alguna zona de actividad agrícola? (crítica)		X
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (letrinas, animales, viviendas, basura o industrias, etc.)? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura) (crítica)		X
6. Tienen las personas y animales acceso a la captación del río?(crítica)	X	
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X*	
8. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas y otros) tapando las rejillas de la toma?	X*	
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma de agua?		X
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X	
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	7	
Nivel de riesgo identificado	Riesgo Alto	

*No existen rejillas debido al tipo de captación empleada, por tanto se consideraron como sí.

Acciones para disminuir los factores de riesgo según la metodología:

“Solicitar intervención de AyA con apoyo técnico del Nivel Regional y Central para supervisión de acuerdos. Movilización de actores sociales con representantes comunales, Elaborar plan de emergencia y advertir y educar a la comunidad sobre los riesgos. Plazo de 3 meses para obtener evidencia de mejoras”.

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Nombre de la fuente: La Gringa		
Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SI	NO
11. ¿Está la captación fuera de un área protegida o zona de conservación?		X
12. ¿Está la toma de agua desprovista de infraestructura que la proteja?	X	
13. ¿Está el área alrededor de la toma sin cerca?	X	
14. La toma de agua está ubicada dentro de alguna zona de actividad agrícola? (crítica)		X
15. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (letrinas, animales, viviendas, basura o industrias, etc.)? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura) (crítica)		X
16. Tienen las personas y animales acceso a la captación del río?(crítica)	X	
17. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	X*	

18. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas y otros) tapando las rejillas de la toma?	X*	
19. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma de agua?		X
20. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?	X	
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")		6
Nivel de riesgo identificado		Riesgo Alto

*No existen rejillas debido al tipo de captación empleada, por tanto se consideraron como *sí*.

Acciones para disminuir los factores de riesgo según la metodología:

“Solicitar intervención de AyA con apoyo técnico del Nivel Regional y Central para supervisión de acuerdos. Movilización de actores sociales con representantes comunales, Elaborar plan de emergencia y advertir y educar a la comunidad sobre los riesgos. Plazo de 3 meses para obtener evidencia de mejoras”.

FICHA DE CAMPO 4
TANQUES DE ALMACENAMIENTO

I-) INFORMACION GENERAL

Fecha: 16/04/14
Nombre acueducto: ASADA de Bahía Drake
No. Registro:
Nombre tanque: **Bijagua**
Dirección:
Encargado: Fontanero de la ASADA (Ángel Castrillo).
Teléfono: -----
Nombre del funcionario: -----

Tipo tanques:
Elevado () A nivel ()
Enterrado () Semi-enterrado (x)

Material del tanque:
Concreto (x) Metálico () Plástico ()

Frecuencia de limpieza:
Anual (x) Semestral () Trimestral ()
Mensual () Otra () No sabe/Nunca ()

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA

Identificación de factores de riesgo en la toma de agua superficial	SI	NO
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)?		X
2. ¿Está la tapa de la boca de visita del tanque de almacenamiento, construida en		X

raíces?		
4. Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución? (crítico)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?	X	
6. ¿Carece de cloro residual alguna zona en la red principal de distribución (crítico)	X*	
7. Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? (crítico)	X	
8. ¿Carecen de sistema para purgar la tubería de distribución?		X
9. ¿Carecen de un fontanero o encargado del mantenimiento de la red?		X
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?	X**	
TOTAL FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	5	
Nivel de riesgo identificado	Riego Alto	

*Al momento de la inspección, no se realizaba cloración en el tanque.

**El Esquema con que cuenta la ASADA es incompleto.

Acciones para disminuir los factores de riesgo según la metodología:

“Revisar si los factores de riesgo identificados son críticos (preguntas 1, 4, 6 y 7). Solicitar intervención de AyA con apoyo técnico del Nivel Regional y Central para supervisión de acuerdos. Plazo de 3 meses para obtener evidencia de mejoras en riesgos críticos”.

Apéndice 8: Formulario aplicado del Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA

Cuadro 48. Matriz de caracterización de ASADAs del AyA. Fuente: AyA y ASADA de Bahía Drake.



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
SUBGERENCIA GESTION ACUEDUCTOS COMUNALES
UEN GESTION DE ASADAS

CARACTERIZACIÓN DE ASADAS

Fecha: 23/11/2013
ASADA: Bahía Drake

Región: Brunca
Provincia: Puntarenas

Cantón: Osa
Responsable de la Información: Gustavo Gutiérrez

PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%	CALIFICACIÓN				PESO	%
					0	1	2	3		
1. GESTIÓN ORGANIZACIONAL										
1.1. ORGANIZACIÓN COMUNAL										
Organización de la ASADA	1	Efectúan Asambleas ordinarias según la Legislación	3	0,5	no			si	3	0,5
		Organizan Actividades para incorporar nuevos socios (Plan de Afiliación)	3	0,5	no			si	3	0,5
		Que porcentaje de los abonados están constituidos como socios	3	0,5	no	<50%	>50%	todos	2	0,3
		Mantiene los Libros legales al día	2	1	no tienen	sin actualizar	al día		2	1,0
		La Junta Directiva cuenta con capacitación del INA	3	0,5	no			si	3	0,5
		Cumplimiento legal con respecto a los estatutos actualizados	3	0,5	no			si	3	0,5
Cuenta con el Convenio de Delegación	3	5	no			si	3	5,0		
1.2. SOCIAL										
Proyección Comunal	1	Informan sobre su gestión a la comunidad	2	0,5	nunca	poco	bastante		2	0,5
		Brindan campañas a escuelas/colegios	2	1	nunca	poco	bastante		1	0,5
S U B - T O T A L			24	10					9,3	
2. GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y COMERCIAL										
2.1. ADMINISTRACIÓN										
Recurso Humano	2	Cuentan con Administrador	3	1,5	no hay	si hay	Capac. INA	Técnico o	0	0,0
		Cuentan con Fontanero (s)	3	1,5	no hay	si hay	Capac. INA	Técnico	2	1,0
		Cuentan con Recaudador (es)	3	0,5	no	si	físico	electrónico	1	0,2
		Los funcionarios están asegurados (CCSS)	3	1	no			si	3	1,0
		Los funcionarios cuentan con póliza (INS)	3	1	no			si	0	0,0
Sistema de Contable	1	Registra sus operaciones contables	2	3	no hay	sin actualizar	al día		2	3,0
		Cuentan con Estados Financieros	2	1,5	no hay	sin actualizar	al día		2	1,5
		Remiten Estados Financieros al AyA	3	2	no			si	3	2,0
Financiamiento		Cuentan con un plan de inversión	3	1	no			si	0	0,0
		Capacidad de Liquidez para el Financiamiento de las inversiones	2	1	no tiene	<50%	>50%		1	0,5
		Registra depósitos de fondos en cuenta Bancaria a nombre de la ASADA	3	1	no			si	3	1,0
S U B - T O T A L			30	15					10,2	

Continuación Cuadro 35.

CARACTERIZACIÓN DE ASADAS

Fecha: 23/11/2013
ASADA: Bahía Drake

Región: Brunca
Provincia: Puntarenas

Cantón: Osa
Responsable de la Información: Gustavo Gutiérrez

PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%	CALIFICACIÓN				PESO	%	
					0	1	2	3			
2.2. COMERCIAL											
Gestión Comercial	2	Cuenta con Micro medición	3	2	no tiene	<50%	>50%	100%	3	2,0	
		Cuentan con Macro medición	3	1	no			si	0	0,0	
		Conocen mediante registros el porcentaje de agua no contabilizada (Produc. Vrs Fact.)	2	1	No conocen	Si, >40%	Si, <40%			0	0,0
		Aplican las tarifas vigentes ARESEP	3	2,5	no				si	3	2,5
		Tienen programa de cortas	3	2	no				si	3	2,0
		Registran morosidad mensual	2	0,5	>10%	<10%	ninguna			0	0,0
		Se tiene disponibilidad agua para nuevos servicios	3	1	no				si	3	1,0
		Se tiene retenidas solicitudes de nuevos servicios	3	0,5	si				no	3	0,5
		Aplican las tarifas de Ley de Hidrantes	3	0,5	no				si	3	0,5
		Existen contabilidades por separado para los ingresos por hidrantes	3	1	no				si	0	0,0
Sistema de Facturación	1	Tienen sistema de facturación	3	1	no			si	3	1,0	
		La facturación se respalda en medios	2	0,5	no	físicos	electrónicos			2	0,5
		En que lugar se custodia el respaldo de la información	2	0,5	no	en la ASADA	fuera de la ASADAS			1	0,3
Catastro de	2	Cuentan con catastro de servicios	2	1	no	si, desactual.	si, actualizado		1	0,5	
S U B - T O T A L			37	15						10,8	
TOTAL DE RUBRO			67	30						20,9	
3. GESTIÓN EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO											
3.1. AGUA POTABLE											
Recurso Hidrico	2	Los terrenos donde se encuentran las fuentes están	3	2	otros			ASADA		0,0	
		Elaboran registros (Aforos) de producción de las fuentes actuales (l/s)	3	2	no			si		3,0	
		Se encuentran caudales inscritos en el MINAET	3	3	no	por otros	en proceso	ASADA		3,0	
Tratamiento del Agua	1	Poseen Sistema de desinfección	3	4	no			si		0,0	
		Según análisis el agua es apta para el consumo humano	3	5	no			si		0,0	
Calidad del Agua	2	La calidad del agua es potable en toda la red	3	5	no	<50%	>50%	100%		0,0	
		La calidad del agua es potable en todas las fuentes	3	5	no	<50%	>50%	todas		0,0	
		Frecuencia de monitoreo de la calidad (Análisis)	3	3	ninguna	2 al año	4 al año	6 al año		1,0	
Nivel del Servicio	2	Se dan interrupciones en el servicio (continuidad del	3	2	6 al año	4 al año	2 al año	ninguna		0,0	
		Elaboran registros de control y seguimiento de quejas	3	2	no			si		0,0	
		La presión es adecuada	3	2	no en toda la red	<50%	>50%	100%		2,0	
Infraestructura y Condiciones	1	Estudio Técnico de la Infraestructura, que refleja el estado de conservación y capacidad de las partes del sistema	3	5	No tiene	<50% del sistema	>50% del sistema	100%		0,0	
S U B - T O T A L			36	40						9,0	

Continuación Cuadro 35.

CARACTERIZACIÓN DE ASADAS

Fecha: 23/11/2013
ASADA: Bahía Drake

Región: Brunca
Provincia: Puntarenas

Cantón: Osa
Responsable de la Información: Gustavo Gutiérrez

PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%	CALIFICACIÓN				PESO	%
					0	1	2	3		
4. GESTIÓN AMBIENTAL										
Iniciativas de Conservación del Ambiente	1	Es la ASADA vigilante de posibles fuentes de contaminación del ambiente	3	2	no			si	3	2,0
		Participa en el Programa de Sello de Calidad Sanitaria	3	3	No tiene	Incorporado	En Proceso	Certificado	0	0,0
		Realiza la ASADA campañas ambientales	3	1	No hay	Anual	Semestral	Mensual	0	0,0
Iniciativas de conservación del Recurso	1	Tiene la ASADA planes de reforestación u otros de conservación del recurso hídrico	3	1	No hay	comentado	identificado	por escrito	0	0,0
Manejo del Recurso Hídrico	3	Existe un estudio técnico para definir el área de protección de las fuentes	3	2	No tiene	<50% de las fuentes	>50% de las fuentes	todas las fuentes	0	0,0
		El área de protección de la(s) fuente(s) está(n) demarcada(s)	3	1	No tiene	<50% de las fuentes	>50% de las fuentes	todas las fuentes	0	0,0
		En el área de la o las fuentes se realiza vigilancia periódica	3	3	no hay	mensual	semanal	diaria	1	1,0
S U B - T O T A L			21	13						3,0
5. GESTIÓN DEL RIESGO										
Plan de emergencia	1	Han analizado emergencias anteriores (derrumbes, deslizamientos, inundaciones)	3	0,3	No	comentadas	identificadas	por escrito	3	0,3
		Participan en la Elaboración de los Planes de Seguridad del Agua	3	2	No	En Gestión	Incorporados	Aprobados	0	0,0
		Conocen las amenazas al sistema	3	0,3	No	comentadas	identificadas	por escrito	3	0,3
		Conocen las vulnerabilidades del sistema	3	0,5	No	comentadas	identificadas	por escrito	3	0,5
		Cuentan con un protocolo de emergencias	3	0,5	No	comentado	identificado	por escrito	0	0,0
		El personal está capacitado para atender un protocolo para emergencias	3	0,3	no	pocos	algunos	todos	0	0,0
Plan de Contingencia	1	Los componentes del sistema se ubican en zonas vulnerables	3	0,3	todos	casi todos	pocos	ninguno	0	0,0
		Se han identificado fuentes alternativas de abastecimiento	3	0,2	no	incompleto	completo	detallado	2	0,1
		Cuentan con recursos para alquilar equipo	3	0,1	no			si	3	0,1
		Se han identificado un stock de repuestos o accesorios necesarios para la continuidad del servicio en casos de emergencia.	3	0,5	no	incompleto	completo	detallado	2	0,3
Mapeo y Relación de Actores Involucrados	1	Cuentan con stock mínimo de repuestos de operación	3	0,6	no	incompleto	completo	detallado	2	0,4
		Disponen de un listado de proveedores	3	0,3	no	incompleto	completo	detallado	2	0,2
		Tienen asegurados los activos	3	0,5	no	pocos	algunos	todos	0	0,0
		Cuentan con un mapa del sistema	3	0,3	no	incompleto	completo	detallado	1	0,1
		Los funcionarios conocen sus roles de responsabilidad en caso de emergencia	3	0,3	no	incompleto	completo	detallado	2	0,2
S U B - T O T A L			45	7						2,6
T O T A L			193	100						44,8

Rangos de Clasificación	
ASADA A (Consolidadas)	80<=X<100
ASADA B (En Desarrollo)	60<=X<80
ASADA C (Fragiles)	<60

Apéndice 9: Resumen de la entrevista realizada al Dr. Richard Esquivel, médico responsable del EBAIS de Agujitas, Bahía Drake durante 2013.

Fecha de la entrevista: 22 de noviembre de 2013.

Entrevistadores: Vladimir Fallas Yamashita y Macario Pino Gómez.

Desde la perspectiva del EBAIS ¿Cómo está incidiendo la calidad del agua en la salud de la población?

La población consulta poco, cuando son diarreas de poca tasa por lo general recurren a remedios caseros. Se ha detectado que en ciertos lugares se han dado afecciones en la piel, como alergias y “diviesos”, término popular para forunculosis (acumulación de leucocitos en una región del cuerpo donde aparentemente no hay lesión). Algunas personas se han dedicado a investigar la causa de esto y se ha encontrado que muchas veces está relacionado con el consumo de fuentes de agua del pueblo. Muy común, al menos 5 pacientes por semana, la gente lo relaciona con el agua de Drake. La gente que no consume, no presenta esos síntomas. La gente local está acostumbrada a la acumulación de metales y bacterias de la zona, y sus organismos se han acostumbrado.

En muestras de heces de niños y adultos predomina Entamoeba coli, entamoeba histolítica, giardia lamblia. Las personas llegaron a acostumbrarse a tal punto, al consumo de agua contaminada que no presentan manifestaciones de diarrea de alta tasa, simplemente una o dos veces al mes sufren de alguna diarrea, se toman alguna pastilla y se les quitó.

¿La gente en la comunidad acostumbra a desparasitarse?

Sí, aquí muchos pacientes vienen cada seis meses a desparasitarse. El problema se da con los turistas que no están acostumbradas al consumo de estos patógenos y vienen con diarreas de alta tasa, vienen deshidratados y refieren que todo empezó cuando llevan cuatro o cinco días acá. Los que presentan más problemas son los que se quedan cinco días, pues los primeros dos días se infectan y los siguientes días presentan las manifestaciones. Probablemente se dan más casos pero se trata de turistas itinerantes que se llegan acá, se montan en el bote, y presentan las manifestaciones y consultan en otros centros hospitalarios.

En general el problema más grande con los locales son las manifestaciones en piel, y se los digo porque a mí también me ha pasado, de hecho ahora tengo un... Antes solo tomaba agua embotellada, me cansé de comprar y empecé a tomar agua de aquí, y empezaron las infecciones en la piel.

El agua sale café... no podemos lavar, o preparar café. No se puede preparar alimentos con el agua de acá.

¿Es esa situación constante (agua turbia/café)?

Aquí sí aclara en verano, sin embargo ahora está..., vos abris los tubos y huele feo.

En ese sentido, las tomas permiten el ingreso de cualquier contaminante (inclusive heces o excretas animales)

He sabido o me han llegado denuncias de personas que descargan sus letrinas en el río.

Las captaciones de la ASADA están muy retiradas, no es posible que se deba a contaminación antropogénica.

Yo sé de una familia que tiene una letrina que llega al río, y aguas abajo hay familias que toman agua del río. Lo cual es muy común.

Continuando con el tema de la afectación en la salud de las personas por el consumo de agua, ¿Qué más podría agregar?

La población en general se ve afectada, por ejemplo un niño con parásitos va a tener un crecimiento más lento, problemas gastrointestinales, hiporexia, bruxismo, diarrea, niños que no quieren comer y después tienen problemas en la escuela.

Sí se dan brotes de diarrea, pero en este momento no hay. Nosotros vemos problemas como dolores abdominales, hiporexia, déficit de atención, pues como no comen, se quedan dormidos y no ponen atención en la escuela, anemias, tengo muchos pacientes con anemias. En adultos colitis, distensión abdominal y principalmente infecciones en piel. Así es como lo vemos en la población en general.

ANEXOS

Anexo 1: Resultados análisis microbiológico; muestreo de octubre de 2013.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago,
E-mail ceqiatec@itcr.ac.cr / ceqiatec@gmail.com

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: PROYECTO CRI-SUN		FECHA DE RECIBO: 14-10-13
		FECHA INICIO ANÁLISIS: 14-10-13
		FECHA DE INFORME: 23-10-13
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION <input type="checkbox"/>
Nº DE INFORME: 741013		
NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALIS NMP/100 mL (*)
1	Residencias Parte Media	13
2	Panadería Delicias # 2 - filtro	<1,8
3	Residencias parte alta	33
4	Panadería Delicias # 1	17
5	Residencias # 1 parte baja	49
6	Casa Kinder	17
7	Ebais Drake	22
8	Escuela Drake	23
ULTIMA LINEA		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005 (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente

OBSERVACIONES:

- ⊕ La técnica usada para la detección de bacterias coliformes fue de N.M.P. (Número más Probable) del Standard Methods for the examination of water and wastewater 22thed. 2012 APHA-AWWA-WEF.
- ⊕ De acuerdo al Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto # 32327-S todas las muestras se consideran de calidad no potable, excepto la muestra # 2 que se encuentra dentro de los valores para aguas de consumo humano

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el momento y el día arriba indicado.

SOLICITADO POR: SR VLADIMIR FALLAS

REALIZADO POR: DRA. FABIOLA JIMENEZ RODRIGUEZ

Prohibida su reproducción
Página 1 de 1
de informe: 741013

Anexo 2: Resultados análisis microbiológico; muestreo de noviembre de 2013.



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
 ☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago,
 E-mail ceqiatec@itcr.ac.cr / ceqiatec@gmail.com

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA
ENSAYOS ACREDITADOS***

PROCEDENCIA: PROYECTO CRI-SUR (BAHIA DRAKE)		FECHA DE RECIBO:	25-11-13
		FECHA INICIO ANALISIS:	25-11-13
		FECHA DE INFORME:	05-12-13
OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL	<input checked="" type="checkbox"/>	EVALUACION	<input type="checkbox"/>
Nº DE INFORME: 1041113			

NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)
1	021 Residencia María Lara	17
2	009 Residencia Amada Rojas	23
3	001 Residencia Maritza	4,5
4	019 Residencia Porfirio Solorzano	49
5	002 Residencia Floribel Calvo	17
6	004 Residencia Karen Alvarez	4,5
7	007 Residencia Mauricio Amaya	14
8	013 Residencia Antonio Vega	7,8
9	006 Residencia Sebastian Zuñiga	70
10	012 Soda Emiliano Cambronero	46
ULTIMA LINEA		

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005 (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente.

OBSERVACIONES

- ☛ La técnica usada para la detección de bacterias coliformes fue de N.M.P. (Número más Probable) del Standard Methods for the examination of water and wastewater 22thed. 2012 APHA-AWWA-WEF.
- ☛ De acuerdo al Reglamento para la Calidad de agua Potable, Decreto # 32327-S, todas las muestras corresponden a agua de calidad no potable.

Anexo 3: Cuadro utilizado para la determinación del tamaño de muestra de la encuesta realizada.

Cuadro 49. Tamaños de muestra para diferentes valores de N (población), α (nivel de confianza) y d (precisión requerida a cada lado de la proporción). Fuente: (Giné-Garriga et al., 2013)

Table 1

Sample size n for different values of N, α and d. **Source:** Giné-Garriga & Pérez-Foguet (under review-a).

N	$\alpha = 95\%$				$\alpha = 90\%$				$\alpha = 80\%$			
	d < 0.1	d < 0.15	d < 0.20	d < 0.25	d < 0.1	d < 0.15	d < 0.20	d < 0.25	d < 0.1	d < 0.15	d < 0.20	d < 0.25
8	-	-	7	6	-	-	7	6	-	7	6	5
10	-	9	8	7	-	9	8	7	-	9	7	6
15	14	13	11	9	14	12	10	8	14	11	9	7
20	18	16	13	10	18	14	11	9	17	13	10	7
25	22	18	14	11	21	16	12	9	19	14	10	
50	36	26	18	13	33	22	15	11	28	18		
75	46	30	21	14	40	25	17		32			
100	53	33	22	15	46	27	17		35			
150	64	37	23		53	29			39			
250	75	40	24		60							
500	87	43			67							
Eq. (1)	96	43	24	15	67	30	17	11	41	18	10	7

TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: ABASTECIMIENTO DEL AGUA CENSO 2000		TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS Y DESOCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: TIPO DE VIVIENDA CENSO 2000	
Abastecimiento de Agua	Casos	Tipo de Vivienda	Casos
Tubería dentro de la vivienda	42	Casa independiente	46
Tubería fuera, pero dentro del lote	3	Total	46
Total	45		
NSA :	1		
TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: PROCEDENCIA DEL AGUA CENSO 2000		POBLACION TOTAL DEL AREA SELECCIONADA POR: EDAD SIMPLE CENSO 2000	
Fuente del Agua	Casos	Edad	Casos
Acueducto rural o municipal	35	0	7
Pozo	1	1	1
Río, quebrada o nacimiento	9	2	5
Total	45	3	2
		4	2
		5	3
NSA :	1	6	4
		7	3
		8	2
TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: TOTAL DE PERSONAS DENTRO DE LA VIVIENDA CENSO 2000		9	5
Total de personas en la Vivienda	Casos	10	3
1	4	11	3
2	6	12	3
3	13	13	4
4	8	14	5
5	6	15	2
6	4	16	5
7	3	17	4
8	1	18	6
Total	45	19	5
		20	6
NSA :	1	21	5
		22	3
Promedio habitantes por casa	3,7777778	23	3
		24	4
		25	5
		26	1
		27	4
		28	1
		29	3
		30	4
		31	4
		32	6
		33	3
		34	5
		36	1
		37	3
		38	3
		39	2
		40	1
		41	4
		42	2
		43	4
		44	2
		45	3
		46	4
		47	1
		48	2
		50	2
		53	1
		56	1
		63	1
		64	1
		78	1
		Total	170

TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: PROCEDENCIA DEL AGUA CENSO 2011			POBLACION TOTAL DEL AREA SELECCIONADA POR: EDAD SIMPLE CENSO 2011	
Procedencia del agua	Casos		Edad	Casos
un acueducto rural o comunal (ASADAS o CAAR)	120		0	7
un pozo	1		1	15
un río o quebrada	7		2	4
Total	128		3	10
NSA :	12		4	6
			5	9
			6	3
			7	4
			8	8
TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: ABASTECIMIENTO DEL AGUA CENSO 2011			9	6
			10	6
			11	8
			12	5
			13	6
El agua le llega por tubería dentro de la vivienda	Casos		14	6
Si	128		15	4
Total	128		16	6
NSA :	12		17	4
			18	5
			19	3
			20	10
			21	6
TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS Y DESOCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: TOTAL DE PERSONAS RESIDENTES EN LA VIVIENDA CENSO 2011			22	1
			23	8
			24	5
			25	9
			26	7
			27	6
			28	14
Residentes habituales en la vivienda	Casos		29	6
0	12	0	30	11
1	34	34	31	3
2	29	58	32	12
3	27	81	33	5
4	17	68	34	13
5	13	65	35	9
6	3	18	36	9
7	3	21	37	2
9	2	18	38	5
Total	140	363	39	9
	promedio por casa	2,59285714	40	7
			41	5
TOTAL DE VIVIENDAS OCUPADAS Y DESOCUPADAS DEL AREA SELECCIONADA POR: TIPO DE VIVIENDA CENSO 2011			42	7
			43	1
			44	4
			45	6
			46	1
			47	1
Tipo de vivienda	Casos		48	4
Casa independiente	128		49	4
Edificio de apartamentos	5		50	8
Tugurio	3		51	3
Otro (Local, casa móvil, barco, camión)	4		52	4
Total	140		53	2
			54	1
			55	4
			56	5
			57	5
			58	2
			59	3
			63	1
			64	1
			65	1
			66	2
			71	1
			74	1
			75	1
			76	1
			80	2
			Total	363

Anexo 5: Descripción de los parámetros, actividades a calificar y pesos relativos del Instrumento para Caracterización de ASADAs del AyA.

PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%
1. GESTIÓN ORGANIZACIONAL				
1.1. ORGANIZACIÓN COMUNAL				
Organización de la ASADA	1	Efectúan Asambleas ordinarias según la Legislación	3	0,5
		Organizan Actividades para incorporar nuevos socios (Plan de Afiliación)	3	0,5
		Qué porcentaje de los abonados están constituidos como socios	3	0,5
		Mantienen los Libros legales al día	2	1
		La Junta Directiva cuenta con capacitación del INA	3	0,5
		Cumplimiento legal con respecto a los estatutos actualizados	3	0,5
		Cuenta con el Convenio de Delegación	3	5
1.2. SOCIAL				
Proyección Comunal	1	Informan sobre su gestión a la comunidad	2	0,5
		Brindan campañas a escuelas/colegios	2	1
S U B - T O T A L			24	10
PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%
2. GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y COMERCIAL				
2.1. ADMINISTRACIÓN				
Recurso Humano	2	Cuentan con Administrador	3	1,5
		Cuentan con Fontanero (s)	3	1,5
		Cuentan con Recaudador (es)	3	0,5
		Los funcionarios están asegurados (CCSS)	3	1
		Los funcionarios cuentan con póliza (INS)	3	1
Sistema de Contable	1	Registran sus operaciones contables	2	3
		Cuentan con Estados Financieros	2	1,5
		Remiten Estados Financieros al AyA	3	2
Financiamiento		Cuentan con un plan de inversión	3	1
		Capacidad de Liquidez para el Financiamiento de las inversiones	2	1
		Registran depósitos de fondos en cuenta Bancaria a nombre de la ASADA	3	1
S U B - T O T A L			30	15
2.2. COMERCIAL				
Gestión Comercial	2	Cuenta con Micro medición	3	2
		Cuentan con Macro medición	3	1
		Conocen mediante registros el porcentaje de agua no contabilizada (Produc. Vrs Fact.)	2	1
		Aplican las tarifas vigentes ARESEP	3	2,5
		Tienen programa de cortas	3	2
		Registran morosidad mensual	2	0,5
		Se tiene disponibilidad agua para nuevos servicios	3	1
		Se tiene retenidas solicitudes de nuevos servicios	3	0,5
		Aplican las tarifas de Ley de Hidrantes	3	0,5
Existen contabilidades por separado para los ingresos por hidrantes	3	1		
Sistema de Facturación	1	Tienen sistema de facturación	3	1
		La facturación se respalda en medios	2	0,5

		En que lugar se custodia el respaldo de la información	2	0,5
Catastro de Servicios	2	Cuentan con catastro de servicios	2	1
S U B - T O T A L			37	15
TOTAL DE RUBRO			67	30
PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%
3. GESTIÓN EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO				
3.1. AGUA POTABLE				
Recurso Hídrico	2	Los terrenos donde se encuentran las fuentes están legalmente a nombre	3	2
		Elaboran registros (Aforos) de producción de las fuentes actuales (l/s)	3	2
		Se encuentran caudales inscritos en el MINAET	3	3
Tratamiento del Agua	1	Poseen Sistema de desinfección	3	4
		Según análisis el agua es apta para el consumo humano	3	5
Calidad del Agua	2	La calidad del agua es potable en toda la red	3	5
		La calidad del agua es potable en todas las fuentes	3	5
		Frecuencia de monitoreo de la calidad (Análisis)	3	3
Nivel del Servicio	2	Se dan interrupciones en el servicio (continuidad del servicio, fugas, roturas, etc.)	3	2
		Elaboran registros de control y seguimiento de quejas	3	2
		La presión es adecuada	3	2
Infraestructura y Condiciones	1	Estudio Técnico de la Infraestructura, que refleja el estado de conservación y capacidad de las partes del sistema	3	5
S U B - T O T A L			36	40
PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%
4. GESTIÓN AMBIENTAL				
Iniciativas de Conservación del Ambiente	1	Es la ASADA vigilante de posibles fuentes de contaminación del ambiente	3	2
		Participa en el Programa de Sello de Calidad Sanitaria	3	3
		Realiza la ASADA campañas ambientales	3	1
Iniciativas de conservación del Recurso	1	Tiene la ASADA planes de reforestación u otros de conservación del recurso hídrico	3	1
Manejo del Recurso Hídrico	3	Existe un estudio técnico para definir el área de protección de las fuentes	3	2
		El área de protección de la(s) fuente(s) está(n) demarcada(s)	3	1
		En el área de la o las fuentes se realiza vigilancia periódica	3	3
S U B - T O T A L			21	13
PARÁMETRO	FACTOR	ACTIVIDADES A CALIFICAR	PESO	%
5. GESTIÓN DEL RIESGO				
Plan de emergencia	1	Han analizado emergencias anteriores (derrumbes, deslizamientos, inundaciones)	3	0,3
		Participan en la Elaboración de los Planes de Seguridad del Agua	3	2
		Conocen las amenazas al sistema	3	0,3
		Conocen las vulnerabilidades del sistema	3	0,5
		Cuentan con un protocolo de emergencias	3	0,5
		El personal está capacitado para atender un protocolo para emergencias	3	0,3
		Los componentes del sistema se ubican en zonas vulnerables	3	0,3
Plan de Contingencia	1	Se han identificado fuentes alternativas de abastecimiento	3	0,2
		Cuentan con recursos para alquilar equipo	3	0,1

		Se han identificado un stock de repuestos o accesorios necesarios para la continuidad del servicio en casos de emergencia.	3	0,5
		Cuentan con stock mínimo de repuestos de operación	3	0,6
		Disponen de un listado de proveedores	3	0,3
Mapeo y Relación de Actores Involucrados	1	Tienen asegurados los activos	3	0,5
		Cuentan con un mapa del sistema	3	0,3
		Los funcionarios conocen sus roles de responsabilidad en caso de emergencia	3	0,3
S U B - T O T A L			45	7

Anexo 5. Métodos utilizados en la proyección de crecimiento poblacional.

- a) **Método lineal o aritmético:** Este método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)..

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

Donde:

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente al último censo.

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial.

T_{uc} = Año correspondiente al último censo.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

- b) **Método geométrico:** útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es la siguiente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

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

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente al último censo.

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial.

T_{uc} = Año correspondiente al último censo.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

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

c) **Método logarítmico:** en este método se requiere conocer por al menos tres datos correspondientes a tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación utilizada es la siguiente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

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

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, con la siguiente ecuación:

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

Donde:

P_{cp} = población del censo posterior.

P_{ca} = población del censo anterior.

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior.

ln = logaritmo natural.

d) **Método de ajuste exponencial:** este método corresponde a un ajuste de curva a partir de una serie de datos históricos (Davis, 1995). Dicha curva tiene una ecuación de la siguiente forma:

$$y = a * b^x$$

Donde:

y = población en el año x.

a, b = son constantes empíricas.

Mediante la linealización de la ecuación anterior, aplicando logaritmos naturales a ambos lados, se obtiene:

$$\ln(y) = x * \ln(b) + \ln(a)$$

Donde:

$\ln(a)$ = corresponde al intercepto de la función lineal.

$\ln(b)$ = corresponde a la pendiente.

Dicha pendiente e intercepto se calculan con cualquier par de datos de la serie histórica.

Análisis de sensibilidad:

El análisis de sensibilidad empleado en los métodos lineal y geométrico consiste en sustituir paulatinamente el dato del censo inicial y realizar diferentes proyecciones que se promedian al final. Por ejemplo, si se poseen datos censales de 1980, 1990 y 2000, se procede inicialmente a realizar una proyección tomando el dato de 1980 como censo inicial y el de 2000 como último censo. Luego se hace una proyección tomando el dato de 1990 como censo inicial, y lógicamente el de 2000 como último censo. Al final se promedian ambas proyecciones. Si se contara con una serie de datos mayor (información correspondiente a más censos) el procedimiento sería el mismo.

Anexo 6. Metodología de muestreo continuo del AyA.

El protocolo empleado por el AyA para la caracterización de una fuente superficial a ser tratada mediante un sistema FiME consiste en realizar al menos *dos muestreos continuos* bajo condiciones de lluvia (Ricardo Peralta, comunicación personal, marzo 2014). El procedimiento para dichos muestreos es el siguiente:

- ✓ Se toman muestras en las quebradas para color, turbiedad y análisis bacteriológico *cada hora* antes del inicio de la lluvia.
- ✓ Al iniciar la lluvia, conforme se da una variación en la calidad del agua, se aumenta la frecuencia del muestreo, cada media hora. Idealmente el evento de lluvia debe ser bastante fuerte para obtener parámetros críticos.
- ✓ Luego de que se estabilizan las condiciones críticas (amaina la lluvia), se vuelve a tomar muestras cada hora.

Una vez finalizado el evento de lluvia, se procede al transporte y análisis de las muestras. Con los resultados se procede a graficar curvas con la variación de la calidad del agua cruda, así se determinan los valores máximos y valores mínimos o normales a esperar.