

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

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

**“Propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable para la
comunidad indígena de Amubri del Cantón de Talamanca-Costa Rica”**

Enderson Jafet Vividea Castro

CARTAGO, Marzo, 2018



“Propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad indígena de Amubri del Cantón de Talamanca-Costa Rica”

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

Miembros del tribunal



Ing. Macario Pino Gómez
Director



MSc. Jorge Calvo Gutiérrez
Lector 1



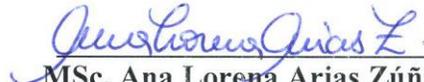
MSc. Mario Zúñiga Chaves
Lector 2



MSc. Diana Alexandra Zambrano Piamba
Coordinador COTRAFIG



PhD. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química



MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

Dedicado al esfuerzo y oraciones de mis padres Juan Ramón Vividea y Xiomara Castro, así como la memoria de Lucas Piña mi segundo padre

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el dador de toda gracia derramada sobre mí para ser, llegar, permanecer y obtener todo lo que hasta ahora he logrado.

A mis padres Juan Ramón Vividea y Xiomara Castro por brindarme todo el apoyo que necesité para lograr todas mis metas, representan un orgullo para mí ser su hijo.

A mi segundo padre terrenal Lucas Piña, por cada oración, cada abrazo, cada consejo que me ayudaron a superar cada obstáculo en la vida. Sin duda alguna implanto el mejor legado en mí vida que es Dios.

A mis hermanas Jarack, Mabel, Meilying y Chellbi por cada chineo y cada regaño que me dieron de motivación en todo sentido, siempre agradecido estoy con ustedes. A mis hermanos Jonathan y Enyer por todo el apoyo en cada trabajo que realice, estoy orgullo y agradecido con ustedes.

A mi Tía Ana, por siempre ser un oasis en mi vida, por sus oraciones y apoyo en todo momento. A toda mi enorme familia que sin lugar a duda son un claro ejemplo de unidad que cuando necesité algo manos sobraron para levantarme y seguir.

A Profesor Macario Pino Gómez, muchas gracias por sus consejos y recomendaciones en todos los procesos, desde inicio de la carrera hasta hoy día, para así lograr ser un mejor profesional.

Al Programa de Regionalización del TEC, por ser el propulsor del proyecto y ser un claro ejemplo de extensión de la universidad e impactar positivamente la sociedad con todos los aporte financieros, sociales y tecnológicos para el mejoramiento de zonas vulnerables del país como lo es Talamanca.

Al CEQUATEC por toda la ayuda en la realización de las pruebas químicas y microbiológicas del proyecto, así como todo el asesoramiento y ser una escuela de formación de un profesional integral. Agradecimiento especial a todo el equipo de regentes y asistentes con las que trabajé.

A la Junta Administradora de la ASADA de Acueducto de Amubri en especial a Eunice Pereira y Erick Pereira, así como Roger Blanco por el hospedaje y servicio, gracias por su apoyo incondicional, gracias por acompañarme a las giras de campo por la facilidad con que me brindaron la información requerida y disponible.

A mis amigos colegas de la carrera de Ingeniería Ambiental que me acompañaron en todo el proceso, muchas gracias por todo, por los momentos compartidos durante la época universitaria.

Gracias a todas las personas que de una u otra forma aportaron un valor positivo en mi vida universitaria, así como en mi vida cotidiana.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen

Abstract

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1.1 Objetivo general	3
2.1.2 Objetivos específicos	3
3. Marco Teórico	4
3.1 <i>Componentes Típicos de un Acueducto por gravedad abastecido por fuentes superficiales</i>	4
3.1.1 Fuente de abastecimiento	5
3.1.1.1 Medición de caudal	5
3.1.1.2 Calidad del agua	7
3.1.2 Obras de Captación	9
3.1.3 Conducción	10
3.1.4 Planta de Tratamiento	10
3.1.5 Almacenamiento	11
3.1.5.1 Criterios de Diseño	13
3.1.6 Desinfección por cloración	14
3.1.7 Distribución	16
3.2 <i>Proyección de población</i>	17
3.2.1 Método Aritmético	18
3.2.2 Método Geométrico	18
3.2.3 Método Logarítmico o Exponencial	18
3.3 <i>Consumo de Agua de la población</i>	19
3.3.1 Caudal promedio	21
3.3.2 Caudal máximo diario	21
3.3.3 Caudal máximo horario	21
4. Materiales y métodos	23
4.1 <i>Localización de estudio</i>	23
4.2 <i>Demanda futura</i>	23
4.2.1 Método de Casas equivalentes	23

4.2.2	Capacidad de la fuente	25
4.3	<i>Mediciones de caudal</i>	26
4.3.1	Mediciones por el método Volumétrico	26
4.3.2	Mediciones usando un medidor de flujo ultrasónico	27
4.3.3	Calculo de caudal de la fuente mediante Aforo con Correntómetros o Molinete	30
4.4	<i>Identificación de los puntos críticos</i>	30
4.4.1	Administración del acueducto	30
4.4.2	Diagnóstico de la Infraestructura	31
4.4.3	Metodología estandarizada SERSA	31
4.4.4	Calidad de agua	32
4.4.5	Curva de Cloro	33
4.4.6	Sistema de Información Geográfica	34
4.5	<i>Proyecciones de demanda del recurso y escenarios</i>	34
4.5.1	Metodología de Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados	34
4.5.2	Calculo de población Actual	37
4.5.3	Población de Diseño	37
4.5.4	Dotación	37
4.5.5	Estimación de caudales	38
4.6	<i>Propuestas de Mejora del Sistema</i>	39
5.	Resultados y discusión	41
5.1	<i>Evaluación del acueducto de Amubri</i>	41
5.1.1	Infraestructura	41
5.1.2	Calidad del agua	45
5.1.3	Perfil del acueducto de Amubri	50
5.2	<i>Identificación de las necesidades hídricas</i>	53
5.2.1	Cálculo de población futura	53
5.2.1.1	Método Aritmético	54
5.2.1.2	Método Geométrico	56
5.2.1.3	Método logarítmico o exponencial	57
5.2.1.4	Selección de la población fija	58
5.2.2	Caudales	59
5.2.2.1	Método volumétrico	59
5.2.2.2	Mediciones de caudal usando el Medidor de flujo ultrasónico	59

5.2.2.3	Cálculo de la oferta de agua de la quebrada Kashabri	61
5.2.3	Cálculo de la oferta y demanda del acueducto	63
5.2.3.1	Oferta del recurso	63
5.2.3.2	Demanda del recurso	63
5.3	<i>Propuestas de mejora</i>	67
5.3.1	Sistema de Tratamiento	67
5.3.1.1	Captación Kashabri	68
5.3.1.2	Rejillas	69
5.3.1.3	Desarenador	69
5.3.1.4	Tanque de almacenamiento	71
5.3.1.5	Desinfección	73
5.3.2	Vigilancia y Control de Pérdidas	74
6.	Conclusiones	78
6.1	<i>Recomendaciones</i>	<i>80</i>
7.	Bibliografía	81
8.	Apéndices	89
	Apéndice 1: Método de Curva de demanda de Cloro	90
	Apéndice 2: Localización del sitio en estudio usando la herramienta qgis 2.18	92
	Apéndice 3: Clasificación de fotografías no supervisadas	94
	Apéndice 4: Método de casas equivalentes	96
	Apéndice 5: Hoja de cálculo para volúmenes de almacenamiento	97
	Apéndice 6: Hoja de cálculo para el diseño del desarenador	98
	Apéndice 7: Cálculo para el diseño de la rejillas	99
	Apéndice 8: Propuesta de diseño del desarenador y la malla perimetral para el acueducto de Amubri	100
	Apéndice 9: Propuesta del tanque de almacenamiento para el acueducto de Amubri	101
	Apéndice 10: Datos de mediciones de caudal usando el medidor de flujo ultrasónico	102
	Apéndice 11: Resultados de la Metodología SERSA	103
	Anexos	110
	Anexo 1. Resultados de Análisis químicos y microbiológicos	111
	Anexo 2. Formulas utilizadas para el diseño del desarenador	123
	Anexo 3. Formulas utilizadas para el diseño del Tanque de Almacenamiento	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1-1 Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable, tomado de diseño de acueductos. Tomado de Torres (2008)	6
Figura 3.1-2 Ejemplo de curva de distribución horaria de un tanque de almacenamiento. Tomado de (Moreno, 2006).....	14
Figura 3.1-3. Curva de demanda de cloro. Fuente: Punto de quiebre (Díaz, 2003)	17
Figura 4.2-1. Metodología para el cálculo y la demanda de fuente de agua	27
Figura 4.3-1 Esquema de medición de un ultrasónico de flujo en fase líquida serie FD613 Tomado de (Omega Engineering, 2008)	28
Figura 4.3-2. Medidor de Flujo Ultrasónico serie FD613 usado en las mediciones de caudal.	29
Figura 4.3-3. Sección transversal en el punto de aforo con el método del correntómetro. Tomado de (Ortega, 2012).....	31
Figura 4.4-1. Unidades del acueducto evaluadas	32
Figura 4.5-1. Esquema general de la metodología del AyA. Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017	36
Figura 5.1-1. Captación principal de agua.....	41
Figura 5.1-2. Red de conducción de acueducto desde la toma al tanque de almacenamiento	41
Figura 5.1-3. Tanque de sedimentación del acueducto, con tapa de zinc metálico	42
Figura 5.1-4. Tanques de almacenamiento en forma de botella.....	43
Figura 5.1-5. Vista interna del Tanque desarenador.....	45
Figura 5.1-6. Ubicación de distintos elementos del acueducto y puntos de referencia, con sitios óptimos para la localización del tanque de almacenamiento	48
Figura 5.1-7. Proyección del Track de GPS a Google Earth Pro realizado para la conducción principal del acueducto de Amubri.....	49
Figura 5.1-8. Corrección de elevaciones utilizando el software Global Mapper versión 19 50	
Figura 5.1-9. Perfil de elevaciones del acueducto de Amubri en distancia horizontal (Km) versus distancia vertical (m.s.n.m)	50
Figura 5.2-1. Población de Talamanca en el tiempo	52

Figura 5.2-2. Comportamiento de la población de Amubri y Bratsi usado el método Aritmético.....	55
Figura 5.2-3. Proyección de la población de Amubri por el método geométrico.....	56
Figura 5.2-4. Proyección de la población de Amubri por el método logarítmico o exponencial	57
Figura 5.2-5. Medición de caudales de setiembre a diciembre del 2016 para el acueducto de Amubri usando el medidor Ultrasónico.....	60
Figura 5.2-6. Diseño bidimensional de la quebrada Kashabri para la obtención de las áreas y las velocidades usando AutoCAD (2015)	61
Figura 5.2-7. Molinete Telescópico utilizado en la gira de campo. Marca Global y Watery modelo FP211	61
Figura 5.3-1 Propuesta para el acueducto de Amubri, basado en las necesidades actuales y de la calidad del cuerpo de agua.....	67
Figura 5.3-2. Propuesta de la captación.....	67
Figura 5.3-3. Propuesta de diseño de la rejilla en la captación	68
Figura 5.3-4. Propuesta de desarenador en paralelo vista en planta para el acueducto	69
Figura 5.3-5. Propuesta de diseño del tanque de almacenamiento para el Acueducto de Amubri.....	71
Figura 5.3-6 Curva de la demanda de cloro para la quebrada Kashabri, elaborada el día 28/03/2017	73
Figura 5.3-7. Modelo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para el diagnóstico e identificación de pérdidas (2003) recomendado para.....	75
Figura 5.3-8. Propuesta de programa de control de pérdidas a mediano y largo plazo según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2003)	75
Figura A.1-1. Muestra con viraje de color a rosado en presentación de comparador de cloro	91
Figura A.1-2. Medidor de Cloro utilizado para la elaboración de la curva de cloro para las muestras de agua de Amubri, marca Orión	91
Figura A.2-1. Área específica de estudio, Amubri del distrito de Telire en el Cantón de Talamanca.....	92
Figura A.2-2. Ubicación del proyecto en Costa Rica	93

Figura A.3-1. Características de la fotografía satelital seleccionada para la clasificación no supervisada. Tomado de http://earthexplorer.usgs.gov/	95
Figura A.3-2. Identificación de la posición correcta de la imagen seleccionada para el estudio. Tomada de http://earthexplorer.usgs.gov/	95
Figura A.8-1 Propuesta de diseño del desarenador para el acueducto de Amubri	101
Figura A.9-1 Propuesta de diseño del tanque de almacenamiento para el acueducto de Amubri	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1-1. Métodos comunes para el aforo de un cauce	7
Cuadro 3.1-2. Parámetros de calidad del agua para el programa de control en nivel 1 Tomado de: (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015).....	9
Cuadro 3.1-3. Parámetros de calidad del agua para el programa de control en nivel N2. Tomado de: (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015)	10
Cuadro 3.1-4. Concentraciones de Hidrógeno según el pH	16
Cuadro 4.2-1. Consumos equivalentes para diferentes tipos de previstas. Tomado de las normas de diseño del AyA (2007).....	25
Cuadro 4.2-2 Consumo total en función de la temperatura y el desarrollo socioeconómico. Tomado de normas de diseño de AyA (2017).....	26
Cuadro 4.3-1. Catálogo del proveedor de tuberías de PVC tomado de Durman Esquivel S.A (2015).....	30
Cuadro 4.4-1. Comité de la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Sanitario de Amubri-Suiri-Kachabri 2018-2020	32
Cuadro 4.4-2. Clasificación de riesgo y código de colores para aplicar la Metodología Estandarizada SERSA. Tomado de (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015)	33
Cuadro 4.4-3. Muestras de agua para la realización de la curva de cloro	34
Cuadro 5.1-1. Resultados de evaluación del acueducto Rural de Amubri	40
Cuadro 5.1-2. Resultados Microbiológicos de las muestras obtenidas del muestreo en Amubri	44
Cuadro 5.1-3. Resultados físicos y microbiológicos del muestreo del 18/09/2016 código 560916	45
Cuadro 5.1-4. Resultados físicos y microbiológicos del muestreo del 4/12/2016 código 091216	46
Cuadro 5.1-5. Distribución de puntos de interés en el perfil del terreno.....	51
Cuadro 5.2-1. Datos censales para el cantón de Talamanca. Tomado de INEC (2012).....	52
Cuadro 5.2-2. Datos censales de los distritos del cantón de Talamanca. Tomado de INEC (2012).....	53
Cuadro 5.2-3. Valores de la razón de crecimiento aritmético	54

Cuadro 5.2-4 . Valores de población para el distrito de Telire.....	54
Cuadro 5.2-5. proyección de población según el crecimiento mediante el método geométrico	55
Cuadro 5.2-6 proyección de población según el crecimiento mediante el método logarítmico	56
Cuadro 5.2-7. Poblaciones de diseño obtenidas mediante los métodos estadísticos utilizados	57
Cuadro 5.2-8. Caudal de entrada en el tanque de almacenamiento mediante el método volumétrico.....	58
Cuadro 5.2-9. Promedios, máximo, mínimos y desviación estándar calculados en la medición de caudales estimados usando el medidor de flujo Ultrasónico	59
Cuadro 5.2-10. Caudal de la quebrada con el método de correntómetro o molinete tipo telescopico1.	61
Cuadro 5.2-11. Proyecciones de caudales considerando un porcentaje de perdidas constante durante el periodo de diseño de 15 años.....	63
Cuadro 5.2-12. Proyecciones de caudales considerando un porcentaje de pérdidas que disminuyan gradualmente de un 40% a 25% en 15 años	63
Cuadro 5.2-13. Proyecciones de caudales con una reducción de consumo promedio por personas, considerando un porcentaje de pérdidas que disminuyan gradualmente de un 40% a 25% en 15 años.....	63
Cuadro A.1-1. Dosis utilizada de Hipoclorito de Sodio para la determinación de cloro libre y combinado en agua cruda.	90

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACH	Agua de consumo Humano
ASADA	Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
ANC	Agua no controlada
CAAR	Comité Administrador de Acueducto Rural
CCP	Centro Centroamericano de la Población
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
Cm ²	Centímetros cuadrados
CMS	Consumo mensual por servicio
CNE	Comisión Nacional de Emergencia
CRTM05	Costa Rica Transversal de Mercator 2005 (sistema de coordenadas)
E. coli	Escherichia Coli
EBAIS	Equipos Básicos de Atención Integral en Salud
FiME	Filtración en Múltiples Etapas
FMD	Factor máximo diario
FMH	Factor máximo horario
GIRH	Gestión Integral del Recurso Hídrico
GPS	Global Position System (Sistema de Posicionamiento Global)
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
L/hab/día	Litros por habitante por día
L/s	Litros por segundo
m.c.a	Metros de columna de agua
mm	Milímetros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
LNA	Laboratorio Nacional de Aguas
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MINSA	Ministerio de Salud

OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PVC	Policloruro de Vinilo
QPD	Caudal promedio diario
QMD	Caudal máximo diario
QMH	Caudal máximo horario
SDR	Coefficiente del espesor de la pared de un tubo de PVC
SERSA	Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud
SIG	Sistema de Información Geográfica

RESUMEN

Costa Rica se caracteriza por ser uno de los países con mayor cobertura del servicio de agua en el mundo, para el 2014 se estimó que un 93,4% de la población costarricense recibe agua de calidad potable, pero solo un 78,5% de la población recibe agua sometida a control de calidad. El acueducto de Amubri está ubicado en la zona indígena de Talamanca es el sistema de abastecimiento de agua más importante de la zona, puesto que abastece más del 80% de la población del distrito Telire. En los últimos 5 años se ha declinado la capacidad del acueducto con respecto a la oferta de agua a la población. Por ello, este estudio busca proponer mejoras a los siguientes componentes: sistema de captación, conducción, almacenamiento, potabilización y desinfección, del acueducto de la comunidad indígena de Amubri del distrito Telire en el Cantón de Talamanca mediante la evaluación e identificación del estado de las estructuras que componen el sistema, así como un análisis de oferta y demanda del recurso hídrico. Se estará usando la metodología SERSA adaptada por el MINSA costarricense, se hizo uso de la información demográfica del INEC y la proyección de poblaciones mediante los métodos aritmético, geométricos y exponencial, así como la utilización de software de Sistemas de información geográfica QGIS y AutoCAD para finalmente generar recomendaciones para el mejoramiento del acueducto.

Palabras clave: Acueducto, oferta, demanda, metodología SERSA

ABSTRACT

Costa Rica is characterized by being one of the countries with the greatest coverage of the water service in the world, by 2014 an estimated 93.4% of the Costa Rican population receives drinking water, but only 78.5% of the population receives water under quality control. The aqueduct of Amubri in the indigenous area of Talamanca is the most important water supply system in the area, which supplies more than 80% of the population of Telire district. In the last 5 years the capacity of the aqueduct of water supply to the population has declined. The aim of this study is to propose the improvement of the aqueduct of the Amubri indigenous community of the Telire district in the Canton of Talamanca by means of the evaluation and identification of the possible variables of the system of capture, conduction, storage and disinfection, as well as an analysis of supply and demand. You are using the Costa Rican methodology SERSA given by the AyA, as well as the use of census of the INEC and the projection of populations through arithmetic, geometric and exponential methods, as well as the use of software of geographic information systems QGIS and AutoCAD to finally generate recommendations for aqueduct improvement

Key Word: aqueduct, supply, demand, SERSA methodology

1. INTRODUCCIÓN

Se estimó que para el 2015, el 91% de la población mundial tenía acceso a una fuente mejorada de abastecimiento de agua potable, en comparación con el 76% en 1990, esto se debe a la mejora continua y al reconocimiento explícito del derecho humano al abastecimiento de agua con una calidad aceptable, para uso personal o doméstico y acceso al saneamiento (OMS, 2016). En un estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, se evidenció un estancamiento en la calidad de agua en el país, estimando que el 82% de los acueductos rurales trabajan con sistemas de desinfección (Murillo D. , 2014). Estos vacíos representan un riesgo sanitario alto, debido a las enfermedades que se pueden transmitir a través del agua y que pueden ser evitados con mayores controles en los sistemas de abastecimiento y el fortalecimiento de este en materia de saneamiento.

Según el vigésimo primer informe del estado de la nación en el capítulo cuatro, el país exhibe logros importantes en el acceso y la cobertura de agua potable, pero existen varias situaciones que atentan contra la posibilidad de mantenerlos, dentro de las cuales se puede mencionar en primer lugar la carencia de capacitación e información para manejar el recurso hídrico, tarea que es medular en el tema de cambio climático y la contaminación, en segundo lugar se menciona la lentitud de los avances en saneamiento y tratamiento. (Estado de la Nación, 2014). Esto expone la necesidad de mejorar la comunicación, capacitación e investigación en temas del agua, para lograr sin lugar a duda un mejoramiento de la calidad de vida del país.

En el decreto 38924-S del 2015 para Costa Rica, se define como agua potable a aquella agua que, al ser analizada, se encuentra en el rango admisible establecidos para los parámetros estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud (Ministerio de Salud Pública, 2015). Para ello es necesario un sistema de abastecimiento de agua potable que permita cumplir con las disposiciones establecidas para este país. Por lo tanto, un sistema de abastecimiento de agua potable debe tener como finalidad, abastecer a los habitantes agua en cantidad y calidad adecuada para satisfacer las necesidades, y cumpliendo con las condiciones básicas solicitadas por la ley, para garantizar la salud pública en general (Jiménez, 2010).

Actualmente la comunidad Indígena de Amubri en el distrito de Telire, cuenta con un acueducto que abastece a más del 80% de la población del distrito, sin embargo, la falta de mantenimiento preventivo, el aumento de la población, condiciones ambientales y la usencia de desinfección del agua para su distribución, han contribuido al deterioro, a la falta de agua y la necesidad imperante de cumplir con las condiciones básicas solicitadas por la ley para abastecimiento de agua a una población. Por ello proponer una mejora en el acueducto de la comunidad en su captación, conducción, almacenamiento, potabilización y desinfección, representan una necesidad medular para el cumplimiento de los requerimientos mínimos para la distribución segura del agua.

2. OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo general

Contribuir al mejoramiento del sistema de captación, conducción, almacenamiento y desinfección, del acueducto de la comunidad indígena de Amubri del distrito Telire en el Cantón de Talamanca.

2.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua de la comunidad de Amubri, mediante la descripción de la infraestructura y calidad del agua distribuida.
- Identificar las necesidades hídricas de la comunidad mediante un análisis de oferta y demanda del agua para las condiciones actuales del acueducto.
- Proponer acciones de mejoramiento de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.

3. MARCO TEÓRICO

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

Tipos de acueductos (Rivera, 2013)

- Acueducto por gravedad: este sistema se caracteriza por tener la fuente de captación en la parte más alta de la comunidad a abastecer, es conocido como un acueducto por gravedad ya que el agua baja por efecto de la gravedad o sea por su propio peso, hasta el tanque de almacenamiento. El sistema generalmente requiere el uso de válvulas para controlar el agua y garantizar que el servicio llegue adecuadamente a todos los puntos de distribución ya sean hogares o fuentes públicas.
- Acueducto por bombeo: este sistema se caracteriza por tener la fuente de abastecimiento en un nivel más bajo que el centro de gravedad de la comunidad abastecida, por lo que es necesario utilizar bombas para elevar el agua. Estas bombas impulsan el agua hacia los tanques de almacenamiento y distribución. Una vez en los tanques el agua baja por gravedad a la comunidad.

3.1 COMPONENTES TÍPICOS DE UN ACUEDUCTO POR GRAVEDAD ABASTECIDO POR FUENTES SUPERFICIALES

Los principales factores por considerar en el diseño de un acueducto son: la demanda a satisfacer, la fuente de agua, la topografía de la zona en la que se construirá el acueducto, el tamaño y la naturaleza de las instalaciones de tratamiento, almacenamiento, el tamaño y ubicación de la red de distribución. Los acueductos por gravedad son los más adecuados para satisfacer las demandas a gran escala en áreas con un paisaje bastante plano o suavemente inclinado adecuado. (Dercon, 2014). Como se muestra en la Figura 3.1-1, es una representación de los componentes típicos de un sistema de abastecimiento de agua.



Figura 3.1-1 Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable, tomado de diseño de acueductos. Tomado de Torres (2008)

3.1.1 Fuente de abastecimiento

La fuente de abastecimiento de agua es el principal elemento del sistema y debe ser definida de manera previa a todo proyecto. La selección de la fuente depende de factores como lo son la ubicación, disponibilidad y la calidad del agua (Torres, 2008). En referencia a la calidad esta debe de encontrarse bajo los límites máximos permitidos y/o recomendados por el Ministerio de Salud de Costa Rica, bajo el decreto 38924-S del 2015 (Ministerio de Salud Pública, 2015)

Para la selección de las fuentes de abastecimiento, es necesario realizar mediciones y proyecciones de estas, así como evaluar la calidad del cuerpo de agua, para garantizar que el recurso va a ser suficiente como abastecimiento de la comunidad y cumplir con requerimientos básicos para ser potable, dentro de los criterios señalados (Tencio, 2014):

3.1.1.1 Medición de caudal

Según (Basán, 2010) la hidrometría se define como “todas aquellas acciones que implican la medición del agua en las diferentes fases operativas, desde que se extrae de las fuentes de abastecimiento (presas de almacenamiento, derivados, pozos profundos, entre otros) hasta que se entrega a los usuarios finales”. Por su parte, (Gamboa, 2014) indica que “la hidrometría se encarga de medir, calcular, analizar y registrar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería, pertenecientes a un pequeño o gran sistema de abastecimiento en funcionamiento”.

De acuerdo con las dos definiciones anteriores, es claro que la hidrometría tiene por objetivo la cuantificación de los niveles de agua que fluyen a través de un cauce. Con la información obtenida mediante un estudio hidrométrico, se puede realizar un análisis integral sobre el uso y explotación del agua del cauce en estudio, produciendo importantes beneficios como lo es en términos económicos la facturación y cobranza del recurso hídrico o en términos ambientales el control de la calidad de las fuentes de agua superficiales o subterráneas. (Ortega, 2012) También, busca conocer qué tan eficiente es la distribución del recurso. Aforar una corriente de agua se refiere básicamente a determinar el valor del caudal para un momento determinado, este caudal depende directamente de la velocidad media del agua y de la sección transversal que atraviesa la corriente de agua (Basán, 2010)

La superficie de la sección transversal de la corriente, como su velocidad, varían con la profundidad del agua, por lo cual, una vez conocida esa relación, pueden obtenerse los caudales por medio de las alturas de agua registradas en escalas colocadas en forma apropiada (Basán, 2010).

En el Cuadro 3.1-1, se muestran algunos de los métodos de medición de caudales más comunes:

Cuadro 3.1-1. Métodos comunes para el aforo de un cauce

Método	Operación/Características
Aforo Volumétrico	Se emplea por lo general, para la determinación de caudales muy pequeños. Consiste básicamente en determinar el tiempo que tarda un flujo de agua en colmar un recipiente de dimensiones conocidas. Es un método relativamente simple que no requiere de equipos especializados (Basán, 2010)
Aforo utilizando estructuras hidráulicas	Su fin es determinar la cantidad de agua que pasa por una sección de canal con área bien definida, por unidad de tiempo. Las estructuras hidráulicas más utilizadas son los orificios, vertedores y secciones críticas. (Valverde, 2009)
Aforo de fuentes superficiales mediante instrumentos (molinete)	El molinete es un instrumento utilizado para medir la velocidad del agua en un canal o corriente, contabiliza las revoluciones que la hélice al ser sumergida en una corriente de agua y basados en el principio de que esta velocidad es directamente proporcional a la del agua, se puede efectuar la medición (Fraquet, 2005). La sección transversal debe estar bien definida y ser lo más uniforme posible. El sitio debe estar exento de controles aguas abajo, que puedan producir remansos que afecten los valores obtenidos.

3.1.1.2 Calidad del agua

El agua para consumo humano ha sido definida en las *Guías para la calidad del agua potable* de la OMS como aquella “*adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal*”. En esta definición está implícito que el uso del agua no debería presentar riesgo de enfermedades a los consumidores.

No obstante, la calidad del agua no es suficiente para asegurar beneficios a la salud humana; es necesario que adicionalmente se satisfagan tres aspectos: cantidad, continuidad y costo. Al margen de las responsabilidades del abastecedor, los consumidores deben tener conocimientos sobre el uso apropiado del agua, de las adecuadas prácticas de higiene de los alimentos, y utensilios de la cocina, así como de la correcta disposición de sus aguas residuales (negras y grises).

Dentro de los requerimientos básicos para ser agua potable son (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2005):

- Estar libre de organismos patógenos causantes de enfermedades.
- No contener compuestos que tengan un efecto adverso, agudo o crónico sobre la salud humana.
- Ser aceptablemente clara (baja turbidez y color).
- No salina.
- No contener compuestos que causan sabor y olor desagradable.
- No causar corrosión o incrustaciones en el sistema de abastecimiento de agua y manchar ropa lavada con ella.

Existen algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se vuelven indispensables a la hora de evaluar la calidad del agua. A nivel nacional existen diversas leyes y reglamentos que regulan la calidad de agua que consume la población. Un ejemplo de ello es la Ley General de Agua Potable y el Reglamento de Calidad de Agua Potable decreto N°. 3892-S del 2015, este último con el objetivo primordial de establecer los niveles máximos que deben tener los componentes o características del agua capaces de representar un riesgo para la salud.

Se establecen cuatro niveles principales de acuerdo con la clasificación fisicoquímica y microbiológica, como para facilitar los reportes operacionales solicitados por el MINSA (Ministerio de Salud Pública, 2015):

- Nivel Primero (N1): en el Cuadro 3.1-2, corresponde al programa de control básico, junto con la inspección sanitaria, para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento y la distribución de agua potable

Cuadro 3.1-2. Parámetros de calidad del agua para el programa de control en nivel 1 Tomado de: (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015)

Primer nivel de control N1				
Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo	Valor Admisible
Coliformes fecales	NMP/100 ml	UFC/100 ml	Ausente	Ausente
Escherichia coli	NMP/100 ml	UFC/100 ml	Ausente	Ausente
Color aparente	Mg/L (U-Pt-Co)	5	225	-
Turbiedad	UNT	< 1	25	-
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable	-
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable	-
Temperatura	°C	18	30	-
pH	Valor de pH	6,5	8,5	-
Conductividad	mS/cm	400	-	-
Cloro residual libre	mg/L	0,3	0,6	-
Cloro residual combinado	mg/L	1	1,8	-

- Nivel Segundo (N2): En el Cuadro 3.1-3 la cual corresponde al programa de control básico ampliado (N1), el análisis de tendencias temporales de variaciones de calidad en las fuentes de abastecimiento, a ser aplicado a muestras de agua potable en la fuente. Según el reglamento de calidad de agua potable, para determinar si un cuerpo de agua puede ser utilizable para consumo es obligatorio su cumplimiento.

Cuadro 3.1-3. Parámetros de calidad del agua para el programa de control en nivel N2. Tomado de: (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015)

Segundo Nivel de Control N2				
Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor Máximo	Valor admisible
Dureza	mg/L CaCO ₃	400	500	-
Cloruro	mg/L Cl ⁻	25	250	-
Fluoruro	mg/L F ⁻	0,7	1,5	-
Nitrato	mg/L NO ₃ ⁻	25	50	-
Sulfato	mg/L S O ₄ ⁻²	25	250	-
Aluminio	mg/L Al ³⁺	0,2	-	-
Calcio	mg/L Ca ²⁺	100	-	-
Magnesio	mg/L Mg ²⁺	30	50	-
Sodio	mg/L Na ⁺	25	200	-
Potasio	mg/L K ⁺	-	10	-
Hierro	mg/L Fe	-	0,3	-
Manganeso	mg/L Mn	0,1	0,5	-
Zinc	mg/L Zn	-	3	-
Cobre	mg/L Cu	1	2	-
Plomo	mg/L Pb	-	0,01	-

- Nivel Tercero (N3): corresponde al programa de control avanzado de agua potable. Comprende la ejecución de los parámetros del N2 ampliados con: nitrito, amonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, antimonio, selenio y residuos de plaguicidas.
- Nivel Cuarto (N4): corresponde al programa ocasionalmente ejecutados por situaciones especiales, de emergencia o porque la inspección sanitaria identifique un riesgo inminente de contaminación del agua.

3.1.2 Obras de Captación

Las captaciones son las estructuras civiles e hidráulicas encargadas de realizar la derivación o toma del agua, desde la fuente de abastecimiento hacia los demás componentes del sistema. El tipo de obra utilizada para el proyecto va a depender del lugar, del tipo de fuente y calidad del agua tanto para época de lluvias o seca (Torres, 2008). Existen tres factores influyen en la cantidad de agua requerida: 1) el tamaño de la población, 2) el uso que se hace del agua y

3) la eficiencia del sistema de transporte y distribución de agua (James, 2009). Según la fuente las captaciones se clasifican en dos (Barahona, 2010):

- Captaciones de aguas subterráneas: son las que utilizan las fuentes superficiales como las nacientes, así como las sub-superficiales como drenajes o pozos de poca profundidad o acuíferos separados por medio de la perforación de pozos profundos.
- Captaciones de aguas superficiales: son las que usan escorrentías y depósitos superficiales como ríos, lagos y embalses. Su captación se hace mediante represas, canales, pozos de captación o de desvío y drenajes.

3.1.3 Conducción

Según Torres (2008), la conducción es el componente encargado de transportar el líquido. En un sistema de abastecimiento se presentan conducciones entre diferentes puntos, por ejemplo, de la toma y desarenador hasta la planta de tratamiento, o de la planta al tanque de almacenamiento o del tanque de almacenamiento a la comunidad. Las conducciones pueden trabajar, desde el punto de vista hidráulico, de dos maneras:

- Flujo libre: canales, túneles (abiertos, cerrados)
- Flujo presión: tuberías y túneles

3.1.4 Planta de Tratamiento

Debido a que el agua en su forma natural no es apta para el consumo humano, es necesario tratarla mediante procesos físicos, químicos o biológicos (combinación entre ellos) hasta lograr que esta sea potable. Cuando se habla de tratamiento de agua potable, se habla de la implementación de una serie de procesos unitarios que garantizan que el agua captada sea apta para consumo humano, por lo tanto, una planta de tratamiento es llamada al conjunto de procesos físicos, químicos y/o biológicos para obtener agua potable (Leal, 2014).

Dependiendo de las características del cuerpo de agua, así será su tratamiento, por ello las plantas de tratamiento se pueden clasificar en dos grandes grupos las cuales son:

- Convencional: Son sistemas diseñados y construidos a partir de criterios de ingeniería claramente definidos y tradicionalmente; comprenden el tratamiento mínimo o básico

(coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida o filtración directa) para que el cuerpo de agua sea potable y seguro de consumir. Esta sólo es considerada en los casos en los que la calidad del agua cruda lo amerite y verificando a través de pruebas de campo y/o laboratorio que las tecnologías alternativas no presentan eficiencias razonables, produciendo aguas no aptas para el consumo humano (Pino, 2014). También, se clasifican como convencionales a sistemas de tratamiento como el sistema FiME (Filtración Múltiples Etapas) el cual es un tratamiento donde se pueden utilizar diferentes tipos de filtración como: filtración gruesa dinámica (FDi), filtración gruesa (FG) y filtración lenta en arena (FLA), es utilizada en fuentes de agua con bajos niveles de turbiedad, esta tecnología es confiable y no requiere de sistemas de coagulación-floculación y sedimentación, por lo que su operación y mantenimiento se facilita (Vega, 2013)

- No convencional: se refieren a soluciones individuales o multifamiliares dirigidas al aprovechamiento de pequeñas fuentes de agua. Están compuestas por los siguientes tipos de sistemas de abastecimiento de agua: Captación de agua de lluvia. Pozos con bombas manuales. Manantiales con protección de vertiente (Barrios, Torres, Lampoglia, & Agüero, 2009).

3.1.5 Almacenamiento

El almacenamiento se lleva a cabo por razones de funcionamiento del sistema debido a que el caudal aportado por las fuentes no es siempre constante, y la demanda tampoco es constante, de esta manera se almacena para atender las variaciones de consumo que se ocasionan durante un día, además este componente debe atender las demandas de agua, para cuando hay arreglos o fallas en los componentes que lo anteceden, además se debe garantizar un volumen de reserva en los casos de siniestros como incendios (Torres, 2008).

Según el manual de Norma de diseño y construcción de sistemas de agua, saneamiento y pluvial del AyA (2017), establece que los tanques de almacenamiento deben tener al menos la capacidad requerida para:

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

El tanque debe ser dimensionado de manera que cumpla con las siguientes funciones básicas (López, 2003):

- Compensar las variaciones en el consumo de agua a lo largo del día (picos de consumo o de mayor demanda del recurso en el tiempo)
- Contar con reservas en caso de incendio
- Disponer de un volumen adicional de agua para caso de emergencia (accidentes, reparaciones, cortes de electricidad, etc.)
- Dar una presión adecuada a la red de distribución

Si la topografía de la zona presenta niveles adecuados, se puede construir el tanque sobre el terreno (basándose en estudios del terreno y pendientes), enterrado o semienterrado. En los casos contrarios se debe optar por un tanque elevado (Bejarano, 2013). Desde el punto de vista hidráulico, no es relevante la forma del tanque, la forma de mayor importancia es el diseño estructural del mismo y la cimentación. Teóricamente, la red de distribución resulta más económica cuando el tanque se ubica en el centro de gravedad de la población, sin embargo, por razones de espacio, estética y seguridad, casi nunca es situado en esa ubicación. El tanque puede tener distintas funciones dependiendo de la ubicación en la que sea asignada en el sistema de abastecimiento (López, 2003). Estas funciones son:

- *Tanque de distribución:* un tanque es de distribución sí, el agua llega primero a este, antes que a la población.
- *Tanque de compensación:* este es ubicado en algún punto luego de que el agua ingresó a la red de distribución. Son conocidos como tanques de cola, cuando el consumo es nulo, el agua llega a este tanque y cuando el consumo sea mayor a la producción, éste ayuda a satisfacer la demanda de agua.

Las distribuciones horarias del consumo en una comunidad están ligadas en gran manera con las costumbres de sus habitantes, pero siempre habrá una hora de mayor demanda y otra de menor. En poblaciones pequeñas las variaciones de consumo son las extremas, debido a que las costumbres son más uniformes en sus habitantes. En ciudades más grandes las costumbres son más variadas, por lo que los valores de consumo son más uniformes y no

hay mucha diferencia en los máximos y mínimos (Bejarano, 2013). Un ejemplo en la Figura 3.1-2 muestra la distribución horaria de un tanque de almacenamiento.

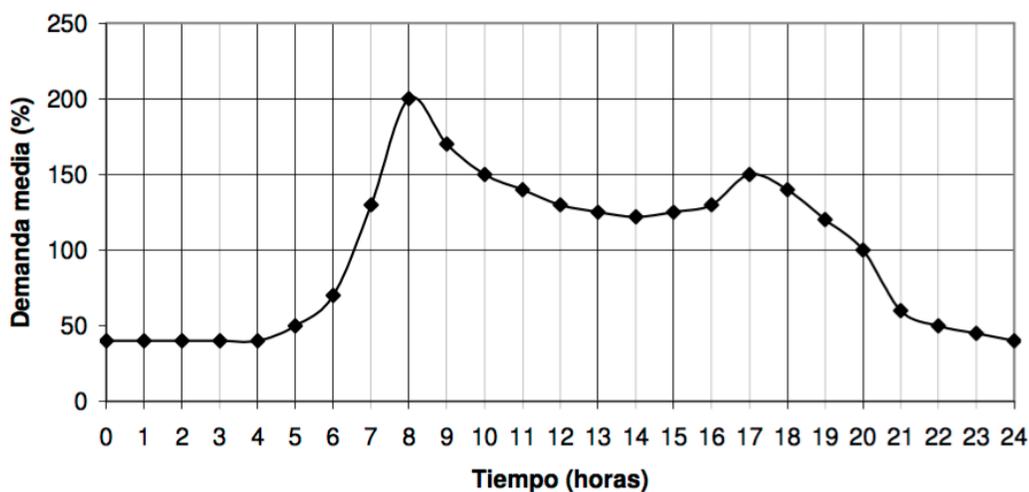


Figura 3.1-2 Ejemplo de curva de distribución horaria de un tanque de almacenamiento. Tomado de (Moreno, 2006)

3.1.5.1 Criterios de Diseño

Según el capítulo dos de la ley constitutiva del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados en Costa Rica, para construcción y diseño de los tanques de almacenamiento de un acueducto rural se debe de considerar para el diseño, la capacidad suficiente para almacenar agua con los propósitos de:

- a) Compensar las fluctuaciones horarias de la demanda: las cuales serán determinados para cada caso en particular, utilizando curvas de consumo reales. En caso de no disponer la información anterior, y si el caudal que alimenta el tanque es constante e igual al caudal promedio requerido por la zona abastecida por el depósito, este volumen será el 14% del volumen promedio diario
- b) Suplir agua en caso de interrupciones del abastecimiento matriz (principal).

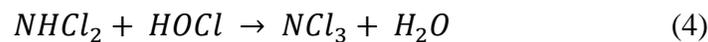
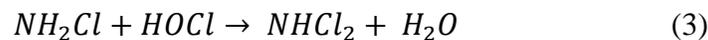
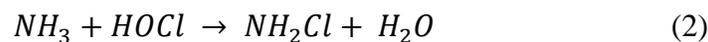
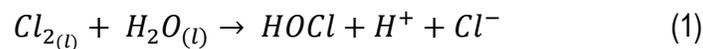
La capacidad del tanque está en función del gasto máximo diario y la ley de demandas de la localidad, calculándose ya sea por métodos analíticos o gráficos. El coeficiente de regulación está en función del tiempo (número de horas por día) de alimentación de las fuentes de abastecimiento al tanque, requiriéndose almacenar el agua en las horas de baja demanda, para distribuirla en las de alta demanda.

3.1.6 Desinfección por cloración

La desinfección del agua se refiere a la destrucción de los microorganismos causantes de enfermedades o patógenos presentes en ella. Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en las plantas de purificación son (Arboleda, 2000):

- Debe ser capaz de destruir los microorganismos causantes de enfermedades.
- Debe realizar esta labor a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuado.
- No debe hacer el agua tóxica-peligrosa para la salud o de sabor desagradable.
- Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- Su concentración en el agua debe poderse determinar prontamente.
- Debe dejar un efecto residual, para que proteja el agua contra posteriores contaminaciones. La efectividad de un proceso de desinfección se mide por el porcentaje de organismos muertos dentro de un tiempo prefijados.

La permanencia del cloro como desinfectante se explica indudablemente por su fácil disponibilidad, su bajo costo y su confiabilidad, así como por la facilidad con que se le puede medir en los abastecimientos de agua (Crittenden, Hand, Howe, Tchobanoglous, & Trusell, 2012). La forma en que se disocia el cloro en el agua es mostrada en la ecuación 1, en la ecuación 2 representa el cloro libre y las ecuaciones 3, 4 y 5 corresponden a la formación de cloraminas que constituyen al cloro combinado, que se mencionan en párrafos anteriores.



La demanda de cloro es la cantidad de cloro necesaria para producir el proceso de desinfección y además asegurar la existencia de una cierta cantidad residual, que protegerá el agua de futuras contaminaciones, después de un tiempo de contacto. (Edzwald & Tobiason, 2011). Una curva de cloro residual es una figura que permite relacionar el cloro residual total vs el cloro adicionado al agua, a partir de los datos obtenidos de esta figura determinar la

cantidad de demanda de cloro idónea para la potabilización del agua en cuestión. (Crittenden, Hand, Howe, Tchobanoglous, & Trusell, 2012)

La disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración del ion hidrógeno (pH), esto se ejemplifica en el Cuadro 3.1-4, evidenciando que el pH es un variable a considerar para el uso del cloro como desinfectante.

Cuadro 3.1-4. Concentraciones de Hidrógeno según el pH

pH	Residual predominante
Menor de 6	Cl ₂
7.7	HOCl y OCl ⁻ *
Mayor de 9	OCl ⁻

* HOCl y OCl⁻ se denomina cloro libre disponible o residual libre. Tomado de Manual de Prácticas de Laboratorio de agua Potable y Residuales (2015)

Con respecto a su determinación mediante análisis, es importante entender la manera cómo se comporta el cloro, o las sustancias que liberan cloro, cuando se agregan al agua, dependiendo de las otras sustancias allí presentes. Este comportamiento se puede analizar con base en los siguientes casos (EPA, 2016):

1. Cuando el agua contiene ciertas sustancias reductoras, tales como sales ferrosas o sulfuro de hidrógeno, estas reducirán parte del cloro agregado convirtiéndolo en iones cloruro.
2. Cuando el agua también contiene otras sustancias capaces de reaccionar con el cloro, tales como amoníaco y sus derivados, materia orgánica, bacterias, etc., el nivel de cloro libre disminuirá, pudiendo producirse algunos compuestos orgánicos clorados.
3. Si la cantidad de cloro agregado es suficientemente grande para garantizar que no se reduzca o combine totalmente, una porción permanecerá libre en el agua; esta porción de cloro recibe el nombre de cloro libre residual o cloro libre.

Cuando el cloro reacciona químicamente como en los casos 1 y 2, pierde su poder oxidante y, en consecuencia, sus propiedades desinfectantes. Al cloro presente de esta forma en el agua se le denomina cloro combinado residual o cloro combinado. (Crittenden, Hand, Howe,

Tchobanoglous, & Trusell, 2012). Cuando existe un exceso de otros tipos de compuestos reactivos respecto al cloro agregado originalmente, el nivel de cloro descenderá a 0. Al cloro libre más el cloro combinado se le denomina cloro total residual. Desde el punto de vista de la desinfección, la forma que más interesa es el cloro libre, pues su poder bactericida es mayor que el del cloro combinado; en consecuencia, los análisis rutinarios buscan determinar por lo menos el nivel de cloro libre (Edzwald & Tobiason, 2011)

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la cantidad de cloro libre residual, combinado residual o total resultante al final de un específico período de contacto (Edzwald & Tobiason, 2011). La curva de cloro es una metodología que permite conocer la concentración óptima de cloro, la Figura 3.1-3 muestra un ejemplo de la curva de cloro y el comportamiento típico de la dosis de hipoclorito de sodio con una muestra, antes y después del punto de quiebre (dosis óptima).

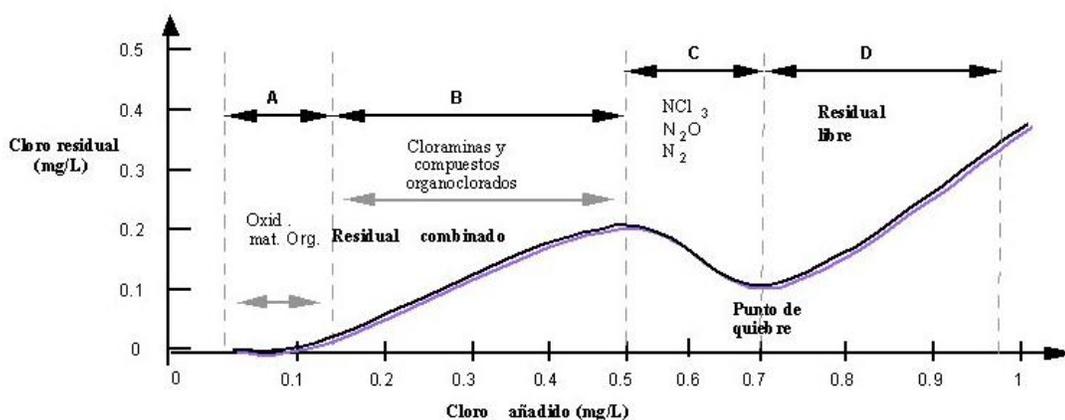


Figura 3.1-3. Curva de demanda de cloro. Fuente: Punto de quiebre (Díaz, 2003)

3.1.7 Distribución

Se define como el conjunto de tuberías cuya función es suministrar el agua potable a los consumidores de la localidad en condiciones de cantidad y calidad aceptables (López, 2003). La distribución se realiza por medio de una red de tuberías que llevan el agua a cada domicilio. Las redes de distribución funcionan a presión, la cual es dada por una columna de agua generada por gravedad o por bombeo (Torres, 2008).

La unión entre la red y el tanque de almacenamiento se hace mediante una conducción llamada “línea matriz”, la cual se encarga de llevar agua a los puntos de entrada. La red de distribución se puede conformar de los siguientes tipos de tuberías, según su diámetro y la función que cumplan (Bejarano, 2013):

- *Red Principal o Matriz:* Conjunto de tuberías con diámetro nominal mayor o igual a 300 mm (12 pulgadas). Red encargada de distribuir agua a las diferentes zonas de la población. No debe haber ninguna conexión domiciliaria.
- *Red Secundaria:* Conjunto de tuberías con diámetro nominal menores a 300 mm, pero mayores a 100 mm (4 pulgadas). No debe haber ninguna conexión domiciliaria, excepto para consumidores con conexiones mayores a 75 mm (3 pulgadas).
- *Red Terciaria o Menor:* es alimentada por la red secundaria y es la que realiza las conexiones domiciliarias. Se componen de diámetros menores a 75 mm, aunque no deberían de ser menores a 37 mm (1,5 pulgadas).
- *Conexión Domiciliaria:* es la conexión que se realiza en la red terciaria y cada predio. Sus diámetros van desde los 75 mm a 12,5 mm (0,5 pulgadas).

El criterio de clasificación por el diámetro nominal de las tuberías depende de ciudad a ciudad. Para poblaciones menores de 60 000 habitantes, no existe red primaria, por lo que la red secundaria cumple la función de primaria, garantizando la presiones, caudales requeridos por el diseño y tuberías mayores a 50 mm (López, 2003).

3.2 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

En esta sección se desarrolla aspectos básicos de determinación de población de diseño y proyecciones de población.

La determinación de la cantidad de agua que se debe suministrar es uno de los parámetros básicos de análisis y diseño de este para determinar el volumen de agua necesario para el acueducto, por ello es necesario estudiar dos factores fundamentales (Esquivel, 2007):

- Población que debe ser abastecida.
- Características de consumo de agua en la zona.

En Costa Rica se cuenta con Instituto Nacional de Censo (INEC), la cual lleva a cabo el censo nacional de población y vivienda. En el 2011, se realizó el más actual censo nacional, sin embargo, se disponen de datos de censos de años anteriores como los años 2000, 1984, y 1973 (INEC, 2011). La estimación de la población futura se realiza generalmente para el diseño y análisis del abastecimiento de un acueducto. Dentro de los métodos para estudios demográficos son: método aritmético, método geométrico y método logarítmico-exponencial (Bejarano, 2013).

3.2.1 Método Aritmético

Es también conocido como método de crecimiento lineal, suponiendo que el crecimiento es constante y además independiente del tamaño de la población (López, 2003), y su expresión matemática es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + K_a(T_f - T_{uc}) \quad (6)$$

$$K_a = (P_{uc} - P_{ci}) / (T_{uc} - T_{ci}) \quad (7)$$

Donde:

- P_f es la población del año T_f , posterior al último censo
- P_{uc} es la población del año T_{uc} , del último censo
- P_{ci} es la población del año T_{ci} , anterior al último censo o del censo inicial
- K_a es la razón de crecimiento

3.2.2 Método Geométrico

El método consiste en suponer que la razón de crecimiento de la población es proporcional al tamaño de esta (López, 2003). Su expresión matemática se representa de la siguiente manera:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (8)$$

$$\ln(1 + r) = \frac{\ln\left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (9)$$

Donde:

- r es la tasa de crecimiento anual
- P_f es la población del año T_f , posterior al último censo

- Puc es la población del año Tuc, del último censo
- Pci es la población del año Tci, anterior al último censo o del censo inicial

3.2.3 Método Logarítmico o Exponencial

Sí, la población se da de forma exponencial, se recomienda proyectarla a partir de la ecuación (López, 2003):

$$\frac{dP}{dT} = KP \quad (10)$$

Donde $\frac{dP}{dT}$ es la derivada de la población con respecto al tiempo y K es el porcentaje de crecimiento de la población. Integrando la ecuación 10 entre dos periodos de tiempo y simplificando se obtiene:

$$\ln(P_f) = \ln(P_{ci}) + K(T_f - T_{ci}) \quad (11)$$

$$K = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (12)$$

Donde:

- Cp es el censo posterior
- Ca es el censo anterior

Fórmula eliminando los logaritmos en la ecuación 12 es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} e^{K(T_f - T_{ci})} \quad (13)$$

3.3 CONSUMO DE AGUA DE LA POBLACIÓN

Para la definición el caudal de operación del sistema en el periodo escogido es necesario determinar el consumo por habitante, para luego estimar la demanda total de agua del acueducto. El consumo promedio por persona en un día se le llama dotación y se expresa en L/hab/día. Para realizar el cálculo es necesario tener datos estadísticos de consumo de la población, las cuales deben de incluir el consumo doméstico, industrial, comercial, uso

público y perdido. (Rodríguez S. , 2013). Existen siete factores determinantes en el consumo de agua de una población (López, 2003)

- Temperatura: en zonas de mayores temperaturas se consume más agua.
- Calidad del agua.
- Características sociales y económicas.
- Servicio de alcantarillado.
- Presión de la red de distribución.
- Administración.
- Medidores y Tarifas.

La dotación corresponde a la suma de cuatro componentes. Para esto, es necesario conocer la proyección de la población, el CMS, el porcentaje de ANC, el volumen producido, volumen facturado, número de habitantes por servicio (domiciliares y no domiciliarios) y número de habitantes por servicio. En términos de sus componentes, la dotación se define como (AyA, 2003):

$$Dotación = D + DN + EF + ANC \quad (14)$$

Donde:

D = dotación domiciliar

ND = dotación no domiciliar

EF = exceso por servicio fijos

ANC = agua No contabilizada

ANC se refiere a las pérdidas que se dan en el sistema entre el volumen de agua producido y el volumen medido como consumo o utilizado por los habitantes. Los principales causantes de altos valores de ANC son: fugas de red de distribución, conexiones ilícitas, reboses en tanques de almacenamiento y error en el control de la producción. Para Costa Rica se estima que el porcentaje de ANC se encuentra en el intervalo de [50-60] % la cual es poco deseable. (AyA, 2003).

Para poder diseñar las distintas obras hidráulicas que conforman el acueducto, se debe calcular el caudal de diseño del sistema. Lo más frecuente es el uso de tres tipos de caudales las cuales son (Rodríguez S. , 2013):

- Caudal promedio
- Caudal máximo diario
- Caudal máximo horario

Cuando se dispone de un sistema de regulación de caudal como lo es un tanque de almacenamiento, el diseño es basado en el caudal máximo diario. Si no se cuenta con ello, entonces los diseños se basan en el caudal máximo horario (López, 2003).

3.3.1 Caudal promedio

Es el obtenido de un año de registros y es la base para la estimación del caudal máximo diario y horario (López, 2003). La expresión matemática para su cálculo es de la siguiente manera:

$$Q_{promedio} = \frac{Población(habitantes)*Dotación(\frac{L}{hab*dia})}{86400} \quad (15)$$

3.3.2 Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año, es decir, representa el día de mayor consumo del año (López, 2003), y se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{máx\ diario} = K_1 * Q_{promedio} \quad (16)$$

K_1 es un factor de mayoración, es inversamente proporcional al número de habitantes. Para poblaciones menores de 12 000 habitantes suele ser de 1,3. En el NDPAAD del AyA se establece un valor fijo de 1,2 FMD (AyA, 2017)

3.3.3 Caudal máximo horario

Es la demanda máxima que se presenta en una hora de un año completo y se determina como (López, 2003):

$$Q_{máx\ horario} = K_2 * Q_{promedio} \quad (17)$$

K_2 es un factor de mayoración horaria, en el NDPAAD del AyA se establece que dicho valor puede variar entre 1,6 y 2,0 dependiendo del tamaño de la población y la homogeneidad de las costumbres de los habitantes. FMD (AyA, 2017)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LOCALIZACIÓN DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra referida por el área de influencia de la microcuenca del río Telire, y comprende al distrito de Telire en su parte alta, específicamente en la comunidad indígena de Amubri, Sos, Kashabri y Korbito. Así como los ríos y quebradas más representativas estas quebrada Amubri y Quebrada Kashabri (la cual alimenta actualmente el acueducto de Amubri), el desarrollo económico de estas poblaciones es muy reducido, ya que la mayor parte de los indígenas vive en forma realmente indigente (Salazar, 2012). Este cantón alberga los más extensos y poblados territorios indígenas del país, los cuales cuentan con un régimen administrativo autónomo, sustentado por leyes y convenios internacionales (Borge & Castillo, 1997) (Figura A.2-1). Distrito Telire es el cuarto del Cantón de Talamanca y el más extenso del mismo, limita al norte con el distrito Bratsi y al sur con la comunidad indígena de Katsi, con una altitud de 70 msnm.

4.2 DEMANDA FUTURA

La población futura se basará en la información recolectada de los censos nacionales realizados por el INEC, para los años: 1973, 1984, 2000 y 2011.

De igual manera para calcular la dotación de la población, ya que no hay registros de facturaciones exactos debido a que no se tiene micromedición en cada usuario del acueducto, se realizaron entrevistas a los miembros de la Junta Administradora de la ASADA, con el fin de hacer proyecciones y conocer finalmente la cantidad de agua necesaria para abastecer la comunidad.

4.2.1 Método de Casas equivalentes

La demanda por cubrir en un proyecto a futuro está ligada por la elección correcta de la población proyectada y la cantidad de personas a suplir, se debe conocer cuáles son los

parámetros de: dotación y factores de máximo consumo horarios y diarios, que mejor se ajusten a las condiciones del sitio en estudio (Tencio, 2014).

El método de casa equivalentes se basa en la cuantificación de construcciones existentes en un momento determinado y el consumo que estas representan. La Norma de Diseño del AyA establece una tabla de equivalencias en Cuadro 4.2-1 muestran los valores que representan cada una de las construcciones. Es decir, si existe una escuela en la comunidad, con una población menor o igual a 30 alumnos entonces el consumo estimado es de dos previstas.

Cuadro 4.2-1. Consumos equivalentes para diferentes tipos de previstas. Tomado de las normas de diseño del AyA (2007)

TIPO DE PREVISTA	CONSUMO EQUIVALENTE (CASAS)
Escuela (30 alumnos)	2
Parque, comedor escolar, iglesia	1
Negocios (pulperías, sodas, etc.)	1
Plaza, bodegas, Recibidores, Estación de servicio	1
Oficinas (Bancos, MAG, GAR)	1
Salón Comunal	3
Lotes	0,5
Restaurante pequeño	2
Parcelas	1
Cabina	0,5
Hotel	0,5 * habitación
Cruz Roja, Puesto de Salud	2
Clínica	3

El caudal de diseño de un acueducto es calculado por la determinación del consumo de agua en el sitio. El consumo de la población depende de la dotación a la que ésta se encuentre acostumbrada a utilizar, por lo que las dotaciones asignadas varían según (Esquivel, 2007):

- El sitio
- El nivel de desarrollo
- Los ingresos de la población
- El grado de educación
- Las condiciones climáticas del lugar

Para zonas rurales el Reglamento de Normas Técnicas del AyA (2007) establece una dotación de 150 l/ha/día. También existen valores de consumo de concentraciones humanas que están

ligados directamente con el ambiente y el desarrollo de la ciudad o pueblo, en el Cuadro 4.2-2 se muestran los valores recomendados.

Cuadro 4.2-2 Consumo total en función de la temperatura y el desarrollo socioeconómico. Tomado de normas de diseño de AyA (2017)

Condiciones	Consumo L/hab/días
Zona rural	200
Temperaturas menores a 20°C poco desarrollo industrial y comercial	200 – 250
Temperaturas mayores de 20°C poco desarrollo industrial y comercial	250 – 300
Desarrollo comercial e industrial importante	300 - 375

Para este caso se tomará como dato una dotación de 200 L/hab/d, ya que es un poblado de zona rural, con temperaturas mayores a 20°C y poco desarrollo, a esto se le suma que es dato mayor al recomendado. Las proyecciones realizadas bajo el método de casas equivalentes fueron realizadas para el año 2000, usando una fotografía satelital obtenida de USGS Science for a Changing World, la cual es del 2001 basándose en los criterios de clasificación de fotografías no supervisadas (ver Apéndice 3) y el conteo de casas bajo el criterio de uno de los líderes comunales Erick Pereira de la comunidad de Amubri para realizar la clasificación. Este dato obtenido se usará como línea base para hacer las proyecciones de la población y generar los datos necesarios para la población futura en la sección de diseño.

4.2.2 Capacidad de la fuente

Los insumos hidrológicos que se tienen para las cuencas con potencial a explotar consisten en el registro de precipitación y los datos pluviales en la estación meteorológica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la zona de estudio. A continuación, en la Figura 4.2-1, se muestra la metodología para calcular la capacidad de la fuente captada.

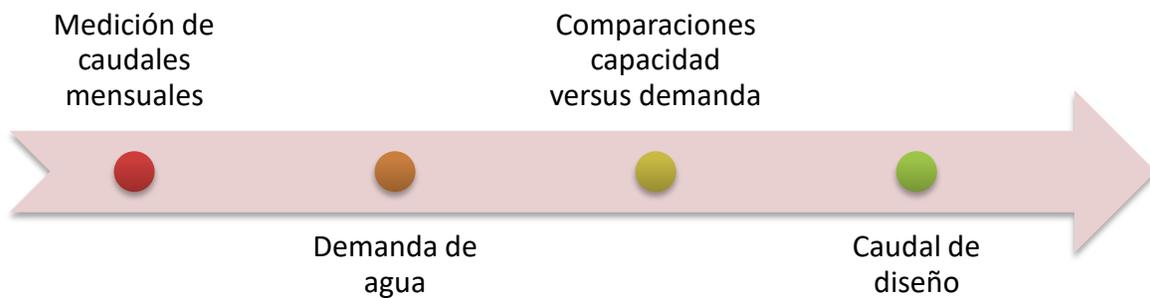


Figura 4.2-1. Metodología para el cálculo y la demanda de fuente de agua

4.3 MEDICIONES DE CAUDAL

Existen múltiples protocolos aplicados a la cuantificación del caudal de una fuente de agua, los cuales varían de acuerdo con características propias del cauce en medición, a las posibilidades de equipo con el que se disponga o a la exactitud con la que se desea obtener los resultados. En las mediciones realizadas se consideró únicamente el caudal que ingresaba en el sistema, esto para evaluar si el caudal ingresado era suficiente para satisfacer las necesidades de la población actual, dado que la ASADA no tiene registros de caudales en ninguna sección del proyecto.

4.3.1 Mediciones por el método Volumétrico

Se hicieron mediciones en el tanque de almacenamiento, usando el método volumétrico, la cual consiste en la medición directa del tiempo para llenar un contenedor de volumen conocido. El flujo se desvía hacia un canal o tubería que descarga en un recipiente adecuado, y el tiempo de llenado se mide por cronómetro (FAO, 2015). En este caso el recipiente fue tomado como el tanque de almacenamiento, obteniendo el área basal del tanque y por medición de la altura, se calcula el tiempo que tardó en llenarse el tanque, con ello se obtuvieron las mediciones de entrada al tanque de almacenamiento.

Usando este método se realizaron cuatro repeticiones en época de verano que comprende los meses de diciembre a abril (Esquivel, 2007), para el mismo tanque de almacenamiento, en cuanto a mediciones en invierno se realizaron bajo el método descrito en la siguiente sección.

4.3.2 Mediciones usando un medidor de flujo ultrasónico

Los medidores de flujo ultrasónico se basan en el cálculo del desplazamiento de la fase líquida, utilizando dos cristales piezoeléctricos contenidos dentro de un transductor para transmitir energía sonora ultrasónica a la corriente de fluido y recibir el sonido reflejado de reflectores (sólidos suspendidos o gases arrastrados) dentro del líquido. De acuerdo con las teorías de Christian Johann Doppler, si el líquido se mueve (y por lo tanto lleva los reflectores con él) y se impone energía oscilante sobre el reflector en movimiento, la frecuencia de oscilación de la energía reflejada será alterada con respecto a la frecuencia transmitida. La magnitud de la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad del reflector, como se muestra en la Figura 4.3-1 (Omega Engineering, 2008).

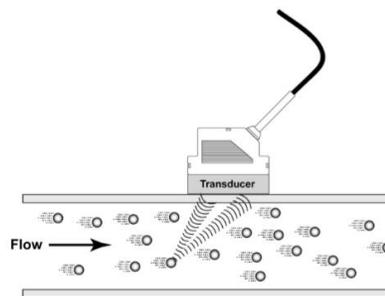


Figura 4.3-1 Esquema de medición de un ultrasónico de flujo en fase líquida serie FD613 Tomado de (Omega Engineering, 2008)

Usando el medidor de flujo ultrasónico, se realizaron noventa y ocho mediciones en metros/segundos en época lluviosa considerando los meses de setiembre a diciembre del 2016, las cuales fueron tomadas en la tubería situada después del tanque de almacenamiento. Se tomaron en consideración las condiciones necesarias para controlar las incertidumbres del equipo, las cuales son (Omega Engineering, 2008):

- Mínimo a 10 diámetros de distancia de cualquier accesorio de tuberías
- Limpiar la tubería de cualquier basura o mohosidad.
- Usar el gel abundantemente antes de colocar el sensor

En la Figura 4.3-2 se presenta el medidor de flujo ultrasónico utilizado en las mediciones de campo.

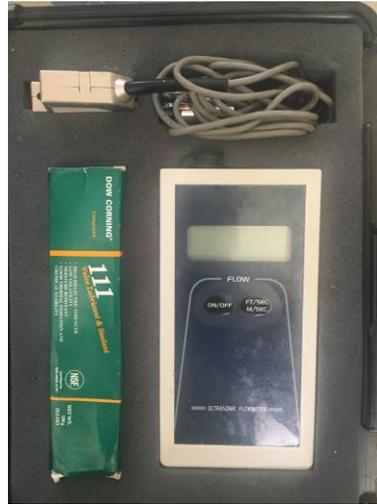


Figura 4.3-2. Medidor de Flujo Ultrasónico serie FD613 usado en las mediciones de caudal.

Para la interpretación de los datos y cálculo de caudales finales, es necesario considerar el diámetro de la tubería y el material de la tubería, ya que estos determinan las áreas transversales necesarias para el cálculo (Murillo R. , 2016). Se consideró la ecuación 18, ya que el medidor de flujo ultrasónico da las velocidades es m/s y ésta al ser multiplicadas por el área obtenemos los caudales en m³/s, la cual en este caso se manejarán en L/s por facilidad de unidades.

$$A = \pi r^2 \quad (18)$$

Donde:

r: es el radio interno de la tubería de PVC, obtenido del catálogo del fabricante Durman Esquivel en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde muestra los SDR para la tubería en estudio.

Las características de la tubería en la que se realizaron las mediciones en el campo son las siguientes:

- Material: PVC 12454
- Fabricante: Durman Esquivel S.A
- Diámetro externo: 4 pulgadas, 100 mm

- SDR: 26
- 11,25 kg/cm²
- 160 psi
- Fabricado en Costa Rica

Dichas características tomadas en el campo fueron utilizadas para obtener lo criterios necesarios para el cálculo del caudal en la tubería, las cuales satisfacen la ecuación 18 basadas en el diámetro interno de la tubería analizada y que son obtenidas de la Cuadro 4.3-1, del catálogo del proveedor.

Cuadro 4.3-1. Catálogo del proveedor de tuberías de PVC tomado de Durman Esquivel S.A (2015)

Pulg	mm	SDR 13.5 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 17 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 26 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 32.5 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 41 (Drenaje)	SDR 50 (Drenaje)	*SCH 40 (ASTM1785)	PVC SCH80 ASTM1785	CPVC Flowguard
1/2	12	18.2/21.3	-	-	-	-	-	15.8/21.3	13.8/21.3	13.1/15.9
¾	18	-	23.5/26.7	-	-	-	-	20.9/26.7	18.9/26.7	22.2/18.9
1	25	-	29.5/33.4	30.4/33.4	-	-	-	26.6/33.4	24.3/33.4	24.4/28.6
1 ¼	31	-	37.2/42.2	38.9/42.2	39.1/42.2	39.8/42.2	-	35.0/42.2	32.5/42.2	29.7/34.9
1 ½	38	-	42.6/48.3	44.6/48.3	45.3/48.3	45.9/48.3	-	40.9/48.3	38.1/48.3	35.2/41.3
2	50	-	53.2/60.3	55.4/60.3	56.6/60.3	57.4/60.3	57.9/60.3	52.5/60.3	49.2/60.3	46.0/54.0
2 ½	62	-	64.4/73.0	67.4/73.0	58.5/73.0	69.5/73.0	-	62.7/73.0	59.0/73.0	-
3	75	-	78.4/88.9	82.0/88.9	83.4/88.9	84.6/88.9	83.3/88.9	77.9/88.9	73.7/89.9	-
4	100	-	100.8/114.3	105.5/114.3	107.3/114.3	108.7/114.3	109.7/114.3	102.3/114.3	97.2/114.3	-
6	150	-	148.5/168.3	155.3/168.3	157.9/168.3	160.1/168.3	-	154.1/168.3	146.4/168.3	-

4.3.3 Cálculo de caudal de la fuente mediante Aforo con Correntómetros o Molinete

Para el cálculo del caudal de la quebrada Kashabri fue realizada usando un molinete telescópico marca Global Watery modelo FP211 realizada el 11 de abril del 2016. El método consiste en medir el área en las secciones parciales en las que se divide el cauce, midiendo la profundidad y el ancho de la sección, y posteriormente medir la velocidad en cada área con el molinete como se muestra en la Figura 4.3-3, donde H es la altura de sedimento hasta el nivel del agua, L_1 (largo de la sección de la quebrada analizada). La velocidad media se mide en el centro de cada área parcial, a una distancia de un 40% de abajo hacia arriba cuando la profundidad es menor a 0,6 m. Si es mayor lo ideal es efectuar dos mediciones, a 20% y 80% de la profundidad (Valverde, 2009).

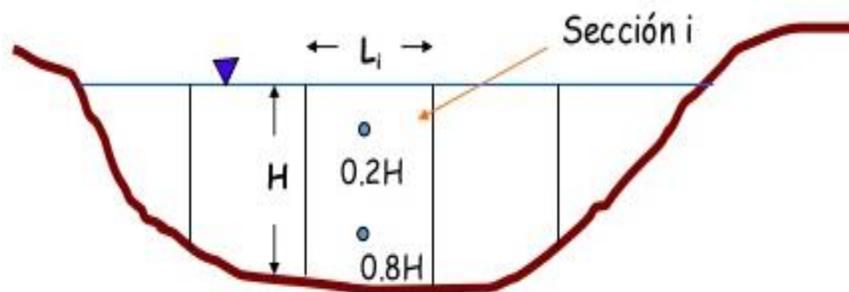


Figura 4.3-3. Sección transversal en el punto de aforo con el método del correntómetro. Tomado de (Ortega, 2012)

4.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS

4.4.1 Administración del acueducto

Actualmente el Acueducto de Amubri está siendo supervisado por la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillado Sanitario de Amubri-Suiri-Kachabri, bajo la personería jurídica número: 3-002 663876. La junta directiva para el 2015-2017 se presenta en el Cuadro 4.4-1, la cual es electa cada dos años, es importante mencionar que dicha junta está inscrita como ASADA.

Cuadro 4.4-1. Comité de la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Sanitario de Amubri-Suiri-Kachabri 2018-2020

Nombre	Puesto que desempeña en el comité
Elda Mayorga Gabb	Presidente
Jarold Torres Buitrago	Vicepresidente
Julio Sánchez	Secretaria
Eunice Pereira Vargas	Tesorera
Jose Páez Guerra	Fiscal
Leopoldo Patterson Torres	Vocal 1

Por problemas persistentes en el abastecimiento de agua, muchos abonados decidieron separarse de la ASADA y dejar de pagar por sus servicios. Sin embargo, se tiene registrado a 470 abonados como contribuyentes y no contribuyentes.

4.4.2 Diagnóstico de la Infraestructura

Se realizaron visitas de campo a la zona indígena de Amubri, para conocer la infraestructura a evaluar. Se consideraron las condiciones naturales y antrópicas de la infraestructura de los componentes del sistema de acueducto, área de recarga y se hizo análisis administrativo para evaluar la susceptibilidad a alterar la calidad del recurso hídrico y de esa forma poder determinar los puntos críticos de control.

Como se muestra en la Figura 4.4-1, son las estructuras evaluadas, además se aplicó la metodología SERSA para establecer los riesgos y generar un índice de vulnerabilidad del acueducto. En las visitas de campo se contó con el acompañamiento de vocal de la ASADA (2015-2017), así como entrevistas con la tesorera de este, lo que permitió conocer mejor algunos detalles, y que son de utilidad para formulación de mejoras, nuevos diseños, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

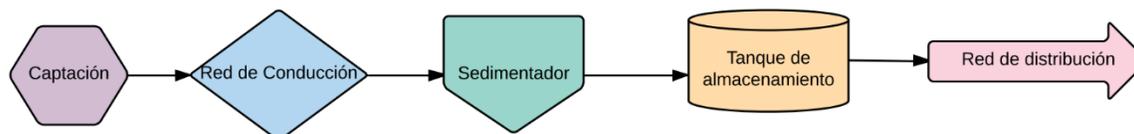


Figura 4.4-1. Unidades del acueducto evaluadas

4.4.3 Metodología estandarizada SERSA

Para la evaluación de los cuerpos de agua (toma de agua, almacenamiento y conducción) se aplicaron los cuestionarios de SERSA, los cuales se adjuntan en el Apéndice 11. Se le llama SERSA al Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud, nace mediante el decreto N.º 38524-S del 2015, con el fin de cumplir con la misión de garantizar la protección y mejoramiento del estado de salud de la población, mediante el ejercicio efectivo de la rectoría y el liderazgo institucional, con enfoque de promoción de la salud y participación social, bajo los principios de transparencia, equidad, solidaridad y universalidad (Poder Ejecutivo, 2015)

Mediante el artículo 14, se estableció el Programa de vigilancia, el cual sería aplicado por el Ministerio de Salud en las inspecciones que realicen, y consiste en: Aplicar la metodología de evaluación de riesgo sanitario conforme a las Guías de Inspección del Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA) en cada uno de los elementos del suministro de agua, contenidas en el Apéndice 11 del decreto y la clasificación es realizada como se muestra en la Cuadro 4.4-2. (Poder Ejecutivo, 2015)

Cuadro 4.4-2. Clasificación de riesgo y código de colores para aplicar la Metodología Estandarizada SERSA. Tomado de (Costa Rica Poder Ejecutivo, 2015)

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

4.4.4 Calidad de agua

Para el análisis de la calidad del cuerpo de agua y la calidad en la red de distribución, basándose en las recomendaciones establecidas por el Reglamento de Calidad de agua potable bajo el Decreto Ejecutivo N.º 38924-S del 2015 se realizaron las siguientes actividades:

- Análisis de campo: se recolectaron muestras de agua, según la metodología de muestreo del CEQIATEC, las cuales son basadas en el Standard Methods 12 edición. En el sitio se midieron el pH y la Temperatura como parámetros de control y luego transportadas al laboratorio.
- Los análisis realizaron en las muestras fueron: N1, N2 y una sección de N3 del reglamento para la calidad del Agua Potable N.º 38924-S Para determinar si estaban contaminadas por origen fecal se hicieron análisis de coliformes fecales y además se determinó la presencia o ausencia de E. coli, la cual es una bacteria de origen exclusivamente fecal, ya que siempre están presente en las heces humanas y de otros animales, pero rara vez se han encontrado en aguas que no han estado expuestas a este tipo de contaminación. Fueron transportadas en hielera para el análisis en el CEQIATEC con pruebas acreditadas para obtener resultados más confiables.

4.4.5 Curva de Cloro

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado para tratar un suministro de agua y la cantidad de cloro disponible total libre o combinado que queda después de un período de contacto, la demanda de cloro varía con la cantidad de cloro aplicada el tiempo de contacto, el pH y la temperatura (López P. , 2000). El uso de cloro como método de desinfección se debe a su capacidad de reaccionar con la materia orgánica y bajo condiciones ideales de la demanda, puede quedar cloro libre (sin reaccionar) suficientes para la conservación del poder de desinfección en el agua a lo largo de la red de conducción (Hach Company, 2015).

Esta metodología fue utilizada para conocer la dosis óptima necesaria de cloro para sistema de agua existente en la comunidad de Amubri. Se realizaron dos muestreos puntuales en la red, el Cuadro 4.4-3 muestra las fechas y localización de los muestreos.

Cuadro 4.4-3. Muestreos de agua para la realización de la curva de cloro

Muestreo	Fecha	Localización	Volumen de muestra (mL)
1	13/03/2017	Captación	2000
2	27/03/2017	Captación	2000

Para la realización de la curva de cloro, se empleó la metodología usada en el manual de laboratorio del curso Agua Potable y Residuales del ITCR versión del 2015, la cual en el Apéndice 1, se describe los pasos utilizados para la realización de la curva. Las muestras se tomaron en la captación de la fuente ya que el agua distribuida no tiene ningún tratamiento para su consumo, es decir que el agua captada es la misma que se consume en toda la red.

4.4.6 Sistema de Información Geográfica

Para la selección del sitio óptimo del tanque de almacenamiento de agua, se utilizó la herramienta SIG, la cual se define como una estructura constituida por un potente conjunto de instrumentos y tecnologías comprometidos con la adquisición, almacenamiento, gestión, transformación, análisis y visualización de datos espaciales georreferenciados e información geoespacial (Soto, 2015). Esta herramienta permitió obtener las curvas de nivel de la zona en estudio, como la información geográfica para localizar los ríos influyentes, la posición de puntos de interés como lo son: captación, tanque, última casa abastecida, escuelas, así como la realización de un Track usando un GPS MAP64 marca Garmin desde de la captación hasta el último usuario abonado, etc.

El levantamiento de los mapas en SIG se realizó utilizando el software de QGIS 2.18.0 versión más actualizada para el 2017, las capas en CRTM05 del 2014 elaboradas por la Escuela de Ingeniería forestal del ITCR y la fotografía satelital obtenida de USGS Science for a Changing World.

4.5 PROYECCIONES DE DEMANDA DEL RECURSO Y ESCENARIOS

Se empleó para proyectar las necesidades hídricas del acueducto de Amubri en referencia la metodología del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados del 2011

4.5.1 Metodología de Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados

La Metodología del AyA sigue el procedimiento mostrado en la Figura 4.5-1. Se realiza un conteo de casa y una estimación de la población mediante el factor de nacimiento establecido por el AyA de 5 personas por hogares en promedio. Mediante el análisis estadístico del

crecimiento propio de la zona. A partir de información extraída (población y la dotación) se calculan los caudales de diseño.

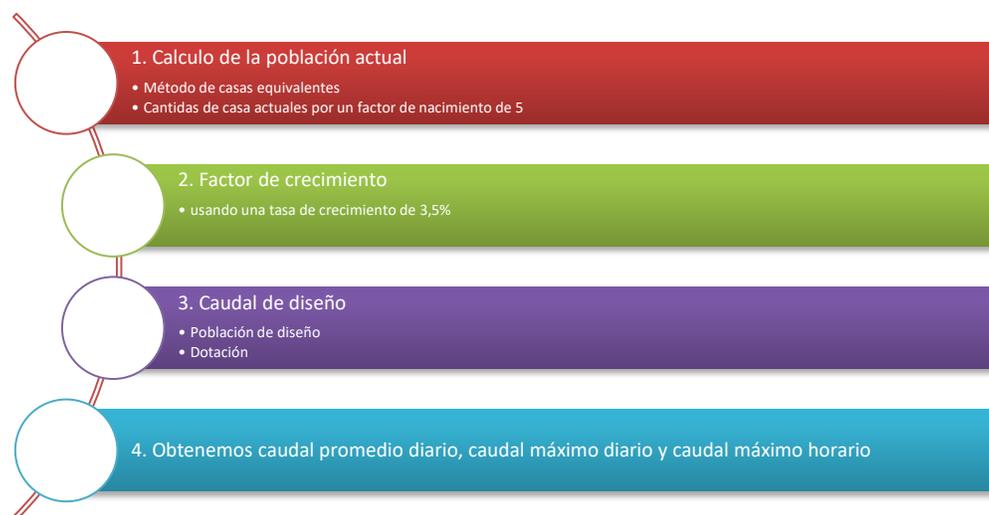


Figura 4.5-1. Esquema general de la metodología del AyA. Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017

4.5.2 Cálculo de población Actual

La población fue estimada con base a la clasificación supervisada de imágenes satelitales y el conteo de casas abastecidas según los datos suministrados por la ASADA. El procedimiento para realizar la cantidad de casas equivalentes se encuentra en el Apéndice 4. El número de casas se multiplica por el factor de crecimiento para la zona de 3,5% estimado en la guía del AyA, dado que la población de Telire no cuenta con datos suficientes del INEC para realizar las proyecciones de porcentajes de crecimiento más precisos, por lo tanto, se utilizó para los cálculos el factor de crecimiento recomendado por el AyA.

4.5.3 Población de Diseño

Según la guía establecida del AyA, la población de diseño se obtiene basado en la ecuación 19 y ecuación 20:

$$Población\ de\ diseño\ (habitantes) = Factor\ de\ crecimiento * Población\ actual \quad (19)$$

$$Factor\ de\ crecimiento = \left(1 + \frac{Tasa\ de\ crecimiento}{100}\right)^n \quad (20)$$

con:

n: Periodo de diseño

4.5.4 Dotación

Basados en los patrones de consumo recomendados para las zonas rurales establecidos por la guía del AyA (2017), el consumo del acueducto de Amubri es de 200 L/ha/día (cuadro 3.2-1). Sin embargo, según el Manual Técnico de la Dirección de Aguas del MINAE establece que el consumo para zona rurales en general es de 200 L/ha/día (MINAE, 2004) por lo que en este caso se considerará este último como el consumo para Amubri. Considerando un 40% de agua no contabilizada (como escenario pesimista) partiendo del hecho que actualmente el acueducto no tiene con un plan de mantenimiento ni ha recibido supervisión por varios años, por lo que la dotación obtenida es de 333 L/ha/d

4.5.5 Estimación de caudales

Según a la metodología del AyA (2017), los caudales de diseño deben calcularse bajo los siguientes factores de variación:

- El caudal máximo diario será igual a 1.2 veces el caudal promedio diario.
- El caudal máximo horario será igual a 1.80 veces el caudal máximo diario.

El caudal promedio se obtendrá basado en la siguiente ecuación:

$$Q_{promedio} = \left[\frac{Población\ de\ diseño * dotación}{86400} \right] \quad (21)$$

4.6 PROPUESTAS DE MEJORA DEL SISTEMA

Una vez evaluado el sistema de abastecimiento de agua potable y a partir de las observaciones, se establecerán propuestas ya sea de diseño o recomendaciones técnicas para mejoramiento del acueducto en general. Para ello mediante la utilizó herramientas como sistema de información geográfica, software de diseño y simulación de unidades hidráulicas.

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

En la captación se plantearon una serie de recomendaciones para el mejoramiento, como lo el aumento del caudal trasegado, así como el diseño de una rejilla adaptado a un caudal de 24,75 L/s (considerando una mayor captación y el caudal ecológico teórico) en el anexo 4 aparecen las fórmulas utilizadas para el cálculo de la rejilla y en el apéndice 8 describe los resultados obtenidos para el diseño de esta.

Se planteó el diseño de un desarenador compuesto de dos unidades en paralelo, ya que el abastecimiento del acueducto depende de fuente de agua superficial, las cuales acarrear gran cantidad de grava, hojas y arena. La propuesta se realizó para un período de diseño de 15 años, en el cual se requeriría un QMD de 24,75 L/s basado en las características del suelo de forma teórico (Alvarado & Forsythe, 2005), se realizaron los siguientes supuestos partiendo que las partículas a sedimentar presentan una densidad de 1220 Kg/m^3 , con un diámetro de 0,1 mm o mayor a una temperatura de 20°C . Se empleó una relación Largo/Ancho de 7 y se utilizó un caudal de diseño de 33,06 L/s. En el Anexo 2 se describe las fórmulas que fueron empleadas para determinar las dimensiones del desarenador, mientras que los cálculos fueron realizados en una hoja de Excel, se puede observar una muestra de esta en el Apéndice 6.

Con respecto al tanque de almacenamiento como parte de las opciones de mejora se calculó el volumen de almacenamiento requerido para la comunidad, con una población proyectada para el año 2031. El cálculo del volumen se realizó comparando los valores de volumen de regulación, contra incendios y de reserva, seleccionando el volumen que resulta mayor de los tres como lo recomienda el manual de diseño del Instituto de Acueductos y Alcantarillados. Las fórmulas empleadas para el cálculo de cada uno de estos se presentan

en el Anexo 3. En el caso del volumen contra incendios se asumió un caudal contra incendios de 10 L/s según AyA (2017). Para el volumen de regulación se tomó un día como el tiempo de retención asumido y para el volumen de reserva se empleó un tiempo de reserva de 3h. Los cálculos fueron realizados en una hoja de Excel, se muestra en el Apéndice 9 un ejemplo de la hoja utilizada.

Finalmente, todos los diseños propuestos fueron plasmados en planos 2D usando la herramienta de diseño Auto CAD, las cuales contienen la ubicación del sitio, una malla perimetral recomendada para cada una de las unidades diseñadas, el diseño de la rejilla, del desarenador y del tanque de almacenamiento.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 EVALUACIÓN DEL ACUEDUTO DE AMUBRI

5.1.1 Infraestructura

De acuerdo con la metodología SERSA, la aplicación de esta fue realizada en las secciones de captación, conducción, sedimentador, almacenamiento y distribución del acueducto rural de Amubri, la cual se describe detalladamente en el Apéndice 11 y que en el Cuadro 5.1-1 resume por el código de colores la condición general del acueducto.

Cuadro 5.1-1. Resultados de evaluación del acueducto Rural de Amubri

Secciones evaluadas	Resultados
Factores de riesgo en la captación superficial	Riesgo Alto
Factores de riesgo en el Tanque de sedimentación	Riesgo Alto
Factores de riesgo en el Tanque de almacenamiento	Riesgo Alto
I Factores de riesgo en la línea de conducción (quebrada-tanque de almacenamiento)	Riesgo Alto
II Factores de riesgo en la línea de conducción (tanque de almacenamiento- red de distribución)	Riesgo Alto

Como los resultados lo muestran, el acueducto en su totalidad se encuentra en alto riesgo, puesto que en sus componentes existe alta exposición a contaminación, por la falta de infraestructura que le provea seguridad, así como la falta de un sistema de potabilización. La captación inspeccionada de la Quebrada Kashabri que alimenta el acueducto en su totalidad, tiene un acceso único es solamente a pie por senderos y atravesando quebradas con un recorrido de una hora aproximadamente. La toma en la Figura 5.1-1 muestra que la captación es propiamente artesanal y que no cuentan con rejillas diseñadas que impidan la entrada de hojas o sedimentos a la red, sino que cuenta cedazo para evitar el ingreso de hojas u otros objetos. Según Erick Pereira Vocal de la ASADA (2015-2017), se le da mantenimiento cada quince días a la captación.



Figura 5.1-1. Captación principal de agua

La red de conducción en su totalidad es de PVC que va desde la toma con un diámetro de 6 pulgadas y se encuentra expuesta en toda la trayectoria dentro de la montaña hasta llegar al tanque de almacenamiento llegando con una tubería de diámetro de 4 pulgadas, por lo tanto, la Figura 5.1-2 se muestra por qué se presentan constantes fracturas a causa de caída de ramas, árboles y deslizamientos de sedimentos en épocas de lluvia ocasionando fugas y aumentando el riesgo de contaminación del agua.



Figura 5.1-2. Red de conducción de acueducto desde la toma al tanque de almacenamiento

La toma está construida en concreto, el área inmediata a la captación hay muy poca intervención y no se observan actividades humanas o asentamientos, 2,1 Km descendiendo hacia el pueblo, se observaron evidencias claras de intervención humana, que son con fines agrícolas, situación que deberá ser analizada con cuidado en caso de que haya una futura expansión que pudiera hacer vulnerable la fuente de agua.

En cuanto al tanque de sedimentación, en el primer semestre del 2016, el acueducto contaba con un tanque de sedimentación con entrada del caudal en paralelo. Lo cual le proveía de mayor facilidad de mantenimiento, sin embargo, para el segundo semestre del 2016, se dejó en funcionamiento, puesto que según la ASADA no había caudal suficiente y se perdía la presión para lograr abastecer a toda la población, lo cual en las siguientes secciones del documento se explicará que dicha observación de la ASADA no es correcta. Sin embargo, mientras se encontraba en funcionamiento, el tanque no cuenta con la seguridad ideal para el funcionamiento, puesto que tiene tapas de seguridad, en la Figura 5.1-3 muestra la condición del tanque desarenador para el primer semestre del 2016, la cual se encontraba protegida con láminas metálica de la entrada de hojas, pero se encontraba semi-tapado permitiendo la entrada de animales y otros materiales. Las características del tanque se encuentran en la sección 3.2.3.1 del documento, la cual describe de las medidas de este.



Figura 5.1-3. Tanque de sedimentación del acueducto, con tapa de zinc metálico

En la Figura 5.1-4 se presenta dos tanques de almacenamiento en serie, los cuales se encuentran deshabilitados desde la primera visita realizada el 4 de marzo del 2016, puesto que la ASADA considero que son inseguros para seguir manteniéndolos, ya que tiene fisuras en el concreto y dificultaba el mantenimiento. Cabe mencionar que estos tanques si contaban con tapas de concreto, pero sin llaves de seguridad. Según la valoración SERSA los tanques tienen un riesgo alto, puesto que no cuentan con una protección perimetral, no se evidencia el mantenimiento periódico a la infraestructura y además presenta daños en la estructura lo que los hace inseguros.



Figura 5.1-4. Tanques de almacenamiento en forma de botella

El acueducto no cuenta con sistema de cloración, por lo que el agua captada es consumida sin ninguna desinfección, por lo tanto, la metodología de SERSA arrojó el resultado como “En alto riesgo” en todo el sistema; dentro de las recomendaciones que realiza este método, es la de solicitar una intervención del Instituto de Acueductos y Alcantarillados para imponer plazos de seis meses máximos para que la junta de la ASADA evidencie los cambios necesarios para hacer seguro el sistema, sin embargo, las sugerencias son genéricas ya que la asume que todo acueducto evaluado bajo éste método debe tener la infraestructura básica (tomas, desarenadores, tanques quiebra gradientes y tanques de contacto), la cual en este caso Amubri no tiene, además que no cuenta con macro medidores ni micro medidores por lo que

la cuantificación del caudal actual es vital para evidenciar si existe realmente un problema de oferta por falta de agua en el acueducto.

5.1.2 Calidad del agua

Los resultados para el muestreo realizado en abril de 2016, en la cual tomaron tres muestras: la muestra 1 en la captación, 2 el tanque de almacenamiento y 3 el centro Turístico sin filtro (área de cocina). Las tres fueron muestras puntuales y se les analizó pH y temperatura en el campo. En la figura Cuadro 5.1-2, muestran los resultados de análisis microbiológicos y se amplían los resultados en el informe completo en el Anexo 1, bajo el código 510416.

Cuadro 5.1-2. Resultados Microbiológicos de las muestras obtenidas del muestreo en Amubri

Número de Muestra	Descripción	Coliformes Fecales NMP/100 mL	Escherichia coli NMP/100 mL
1	Captación	17	17
2	Tanque de Almacenamiento	33	33
3	Casa	130	130

Con base en los resultados obtenidos, se observa que hay un aumento de coliformes fecales en referencia al primer muestreo en la captación de 17 NMP/100 mL contra 130 NMP/100 mL en el primer muestreo esto puede ser asociado a la falta de protección de las estructuras del acueducto desde su captación hasta su distribución. En la Figura 5.1-5, muestra el tipo de cierre del tanque, la cual es muy insegura permitiendo a la entrada de vectores y materiales al tanque sin ningún problema, puesto que solo es tapado con láminas de zinc y el día anterior se había reportado precipitaciones en el área. Por lo tanto, es una variable que según la metodología SERSA aporta riesgo alto a la calidad del agua.



Figura 5.1-5. Vista interna del Tanque desarenador

El muestreo realizado el 18 de setiembre de 2016 se realizó dos muestreos puntuales, el primero en la naciente y el segundo en la casa de uno de los abonados. La Cuadro 5.1-3 muestra análisis fisicoquímico realizado (N1), para conocer las condiciones actuales de la naciente y de la red en un punto dado. En relación con el muestreo se puede mencionar según el testimonio del guía (Erick Pereira) no se había dado precipitaciones en el lugar durante dos semanas, por lo que la naciente estaba en condiciones ideales para el muestro.

Cuadro 5.1-3. Resultados físicos y microbiológicos del muestreo del 18/09/2016 código 560916

Muestra	Descripción	ANÁLISIS										
		Cloro residual Libre mg/L	Cloro residual Combinado mg/L	Coliformes totales NMP/100mL	Coliformes fecales NMP/100mL	E Coli NMP/100mL	Turbiedad UNT	Temperatura °C	pH	Conductividad μS/cm	Olor	Sabor
1	Naciente	ND	NA	240	ND	ND	(0,49±0,01)	20,1	7,86	(115±2)	Acceptable	Acceptable
2	Casa 1	ND	NA	>1,6X10 ³	ND	ND	(1,00±0,01)	26,1	7,90	(100±2)	Acceptable	Acceptable

En relación con el Reglamento de Calidad de Agua Potable del decreto N.º 3892-S del 2015, la cual establece los valores máximos, mínimos y aceptables para que el agua sea de consumo, los resultados obtenidos son aceptables en su totalidad, desde el punto de vista de la calidad del agua. Pese a que en el muestreo no reflejó la existencia de contaminación por coliformes fecales ni E. coli, es necesario como acueducto tener un sistema desinfección que garantice que el agua abastecida sea lo más segura posible. Por el contrario, las muestras si presentaron coliformes totales tanto en la naciente como en la casa muestreada, eso quiere decir que existe probabilidades de presencia de bacterias de origen fecal y otras bacterias Gram negativos aerobios o anaerobios que pueden afectar la salud (Camacho, et al., 2009). En relación con el tercer muestreo realizado el 4 de diciembre del 2016, en la Cuadro 5.1-4 muestran los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos, del cual en el Anexo 1 se

muestra el reporte del laboratorio completo bajo el código 091216. El muestreo fue realizado de manera puntal en la captación y en el Colegio de Amubri situado en el centro de la comunidad (en la figura 5.1-5 se puede identificar la localización dentro del lugar de estudio). En relación con los muestreos anteriores, los resultados obtenidos son similares, ya que indica la ausencia de coliformes fecales y E. coli, sin embargo, existe presencia de coliformes totales normal para una muestra de agua superficial. Sin embargo, en la muestra del colegio si demostró presencia de coliformes fecales y E. coli, esto puede darse por material orgánico dentro de la tubería debido al arrastre desde la captación, como se mencionó en la sección anterior.

Cuadro 5.1-4. Resultados físicos y microbiológicos del muestreo del 4/12/2016 código 091216

Número de Muestra	Descripción	Coliformes Totales NMP/mL	Coliformes fecales NMP/mL	E. coli NMP/mL
1	Captación	240	ND	ND
2	Institución Pública	ND	43	3,6

El Reglamento de Calidad de Agua Potable (2015), establece que un acueducto debe tener una línea base que permita establecer la calidad de la fuente, basado en el análisis realizado en fuentes y red de distribución de los parámetros físico químico, contenidos en los niveles N2 del reglamento. Por ello se realizó un muestreo para establecer la línea base del acueducto, los resultados se encuentran en el Apéndice 11 del documento bajo el código 091216 y con base a los valores máximos permitidos por el reglamento como se muestran en el Cuadro 3.1-3 los parámetros de calidad del agua para el programa de control en nivel N2, la Quebrada Kashabri cumple con todos los parámetros establecidos de calidad de agua y sirve como línea base para el uso de dicha fuente para el acueducto.

La Figura 5.1-6 muestra el levantamiento de un croquis o plano del área de influencia del acueducto según el artículo 13 del decreto, la Figura 5.1-6, permite la identificación y descripción de la zona donde se ubica la fuente de abastecimiento y permitir un mayor control del área. Mediante un estudio de capas proyectadas y generadas por la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR del último estudio en el 2014, se obtuvieron los ríos, quebradas y nacientes de influencia, la cual en la figura antes mencionada muestra que Amubri lo recorre muchas

quebradas, las cuales abastecen el Río Telire y este a su vez la cuenca del Sixaola. Con base a la información obtenida de las capas, se localizó una estación meteorológica de ICE, la cual contaba con proyecciones reales de las precipitaciones de la zona utilizadas en la sección 4.2 para los cálculos de oferta.

Tanto en las mediciones de campo con GPS, como ultimando la herramienta QGIS, se obtuvo una aproximación de 13,20 km de distancia desde la captación hasta la última casa. A lo largo de la carretera se encuentran la mayoría de las casas y establecimientos, lo cual el acueducto en general sigue un trayecto de la carretera como aparece en la figura como caminos.

El acueducto de Amubri funciona en su totalidad por gravedad, lo que significa que la ubicación de los componentes debe ser en las partes más altas para garantizar que la columna de agua genera la presión suficiente para llevar agua hasta la última casa. Mediante la obtención de las curvas de nivel de la zona, se utilizó imágenes raster en infrarrojo para obtención de las pendientes de la zona (clasificación no supervisada de imágenes satelitales). En la que aparece tres clasificaciones de pendientes de 30 m a 140 m sobre el nivel del mar, las cuales coinciden con la ubicación de la zona poblada de Amubri de color morado y la segunda de 150 m a 190 m de color amarillo representan la zona de ubicación actual del tanque de almacenamiento y conducción principal del acueducto, y por último de color naranja de los 200 m a los 450 m representan la zona alta de Amubri y coinciden con la ubicación de la captación en la quebrada Kashabri.

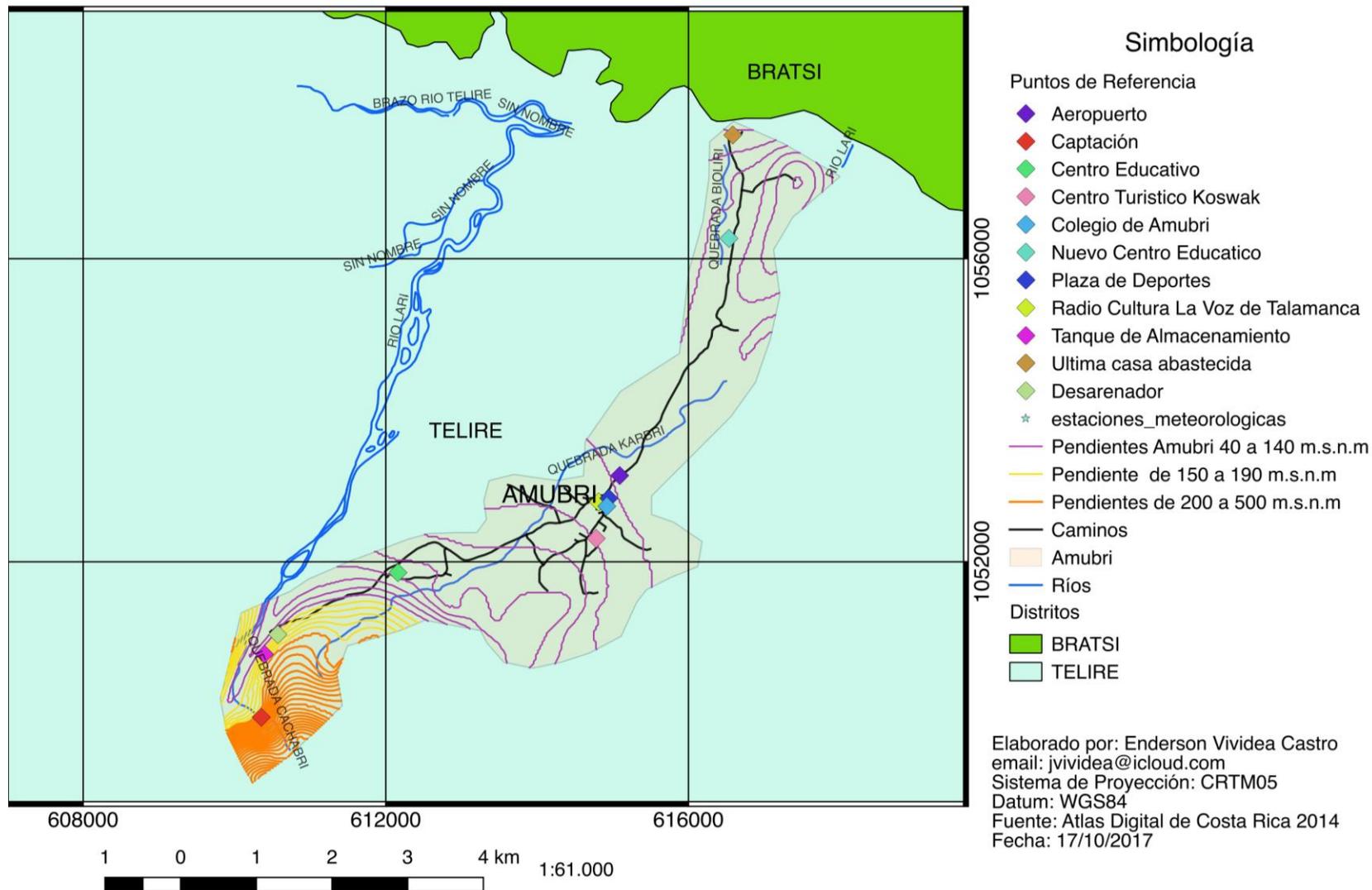


Figura 5.1-6. Ubicación de distintos elementos del acueducto y puntos de referencia, con sitios óptimos para la localización del tanque de almacenamiento

5.1.3 Perfil del acueducto de Amubri

Se realizó el levantamiento de un perfil de altura del acueducto, para evidenciar que este mismo trabaja por gravedad, además de la ubicación de puntos de interés la cuales son: captación, desarenador, tanque de almacenamiento, centro de Amubri y última casa abastecida.

En el tratamiento de los datos, se realizó la carga de los datos y proyectado en el Google Earth Pro, como se muestra en la Figura 5.1-7, dando como resultado una distancia de 13,20 Km de recorrido total. Basado en los métodos de tratamiento de los datos se realizó una corrección de alturas usando el software Global Mapper V19 para la integración de los datos, como se muestra en la figura Figura 5.1-8, en dicha figura se puede apreciar el buffer de la zona en estudio y el recorrido en GPS, así como la caracterización de las elevaciones típicas de la zona.

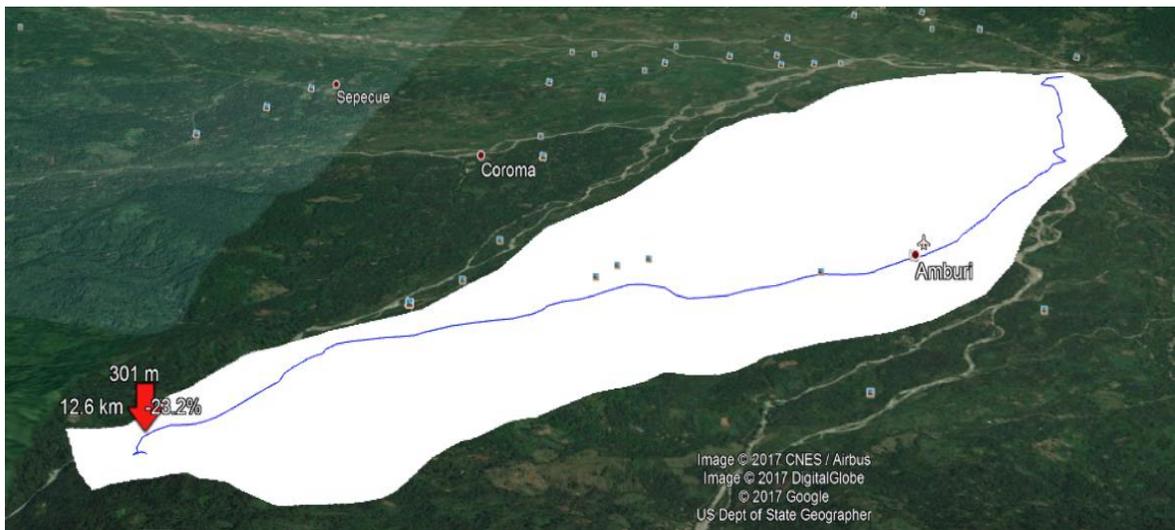


Figura 5.1-7. Proyección del Track de GPS a Google Earth Pro realizado para la conducción principal del acueducto de Amubri

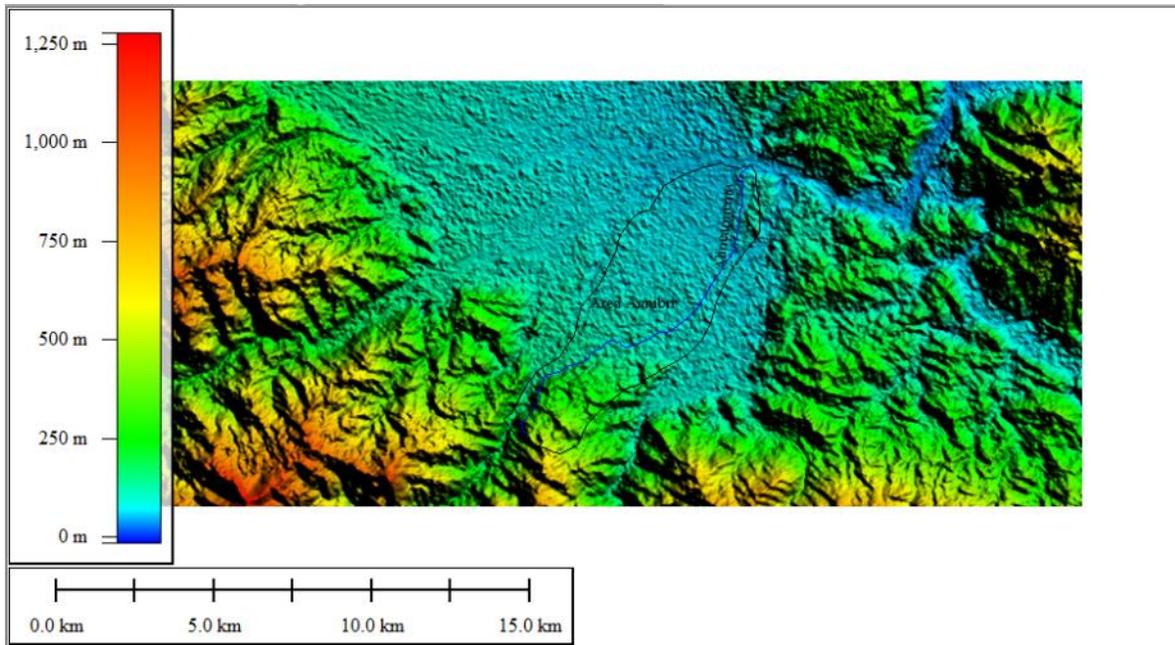


Figura 5.1-8. Corrección de elevaciones utilizando el software Global Mapper versión 19

Basado en el tratamiento de los datos anteriores, se realizó el trazado del perfil de elevaciones en la zona de estudio, la cual se presenta en la figura Figura 5.1-9, para cuestiones de interpretación de la figura será leída de Izquierda a Derecha, donde el primer punto representa la última casa abastecida y el último punto representa la captación de la quebrada Kashabri. La anterior es complementado con el Cuadro 5.1-5 que presenta la ubicación horizontal y vertical de las componentes del acueducto y la última casa.



Figura 5.1-9. Perfil de elevaciones del acueducto de Amubri en distancia horizontal (Km) versus distancia vertical (m.s.n.m)

Cuadro 5.1-5. Distribución de puntos de interés en el perfil del terreno

Unidad del acueducto	Ubicación Horizontal (Km)	Ubicación en Vertical (m.s.n.m)
Captación	13,20	481
Desarenador	12,6	301
Tanque de almacenamiento	12,4	282
Primera casa Abastecida	11,1	161
Centro de Amubri	8,4	105
Ultima casa Abastecida	0	47

Por lo tanto, al evaluar el funcionamiento del sistema de abasto de agua de la comunidad de Amubri se pudo comprobar que existe una gran necesidad de mejoramiento en seguridad del agua, ya que no cuenta con un sistema de desinfección del agua. Por otro lado, la falta de una captación con rejillas y un desarenador son necesarios para realizar una separación física de arenas, y así evitar obstrucciones y contaminación del agua en toda la red de conducción. Fallas o la falta de los componentes antes mencionado, se evidencian en los resultados de análisis microbiológicos, así como la descripción de la infraestructura y calidad del agua distribuida. Mediante la metodología SERSA se puede concluir que existe un alto riesgo en la seguridad del agua.

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

5.2.1 Cálculo de población futura

La recolección de datos de la población del cantón de Talamanca se realizó para los años 1973, 1984, 2000 y 2011 (obtenidos del INEC). No se consideraron años anteriores ya que los métodos y técnicas utilizadas no garantizan que los datos sean confiables, así como los procesos demográficos son diferentes a los que influían en el pasado, ya que actualmente se consideran que las tasas de natalidad y mortalidad generan un margen menor de error en las proyecciones, igualmente estas variables han cambiado con respecto al siglo anterior (Esquivel, 2007).

En el Cuadro 5.2-1 los datos de los censos realizados para el cantón de Talamanca para los años considerados en el estudio, así como en la Figura 5.2-1 se aprecia el comportamiento del crecimiento de la población para el cantón en estudio.

Cuadro 5.2-1. Datos censales para el cantón de Talamanca. Tomado de INEC (2012)

Año	Población
1973	5431
1984	11013
2000	25857
2011	30712

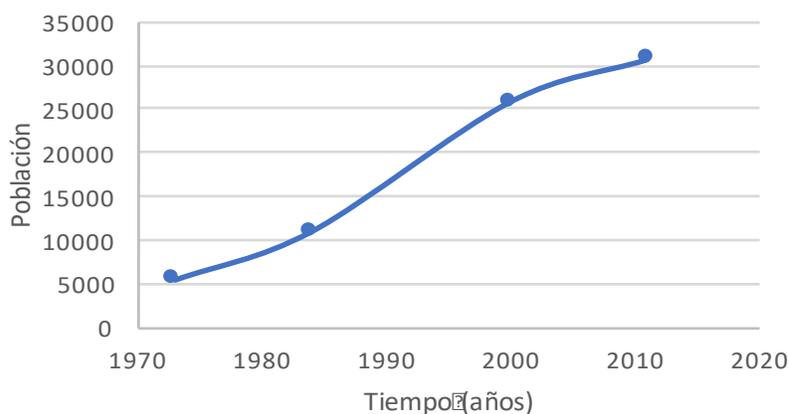


Figura 5.2-1. Población de Talamanca en el tiempo

Los datos anteriores de censos se tomaron de referencia, para observar el crecimiento y tendencia que presenta el cantón de Talamanca. Para el estudio en no existen datos específicos de la comunidad de Amubri en el distrito de Telire. Es importante mencionar que la creación de este distrito como tal, no fue sino hasta el 2004, bajo el decreto 31772-G, por lo que los censos considerados se toma la comunidad de Amubri dentro del distrito de Bratsi (Olivera & Ramírez, 2013), según el INEC para el censo del 2011 se pudo calcular que para el cantón de Talamanca se tiene una tasa de crecimiento porcentual de 3,7% levemente mayor a la establecida para las proyecciones de crecimiento que considera el AyA en el manual de diseño del 2017 de 3,5%.

No se conocen datos específicos para la comunidad de Amubri sino hasta el 2011 por la creación como nuevo distrito bajo el decreto 31772-G, por lo que se realizará un ajuste entre líneas de tendencia por lo métodos de estimación de población para el distrito seleccionado como base (distrito Bratsi) y tomando en cuenta que la población a abastecer para el año 2000 es obtenido mediante el método de casa equivalentes (Ver Apéndice 4). En el Cuadro 5.2-2 se observan los datos de censos de los años en estudio de los cuatro distritos.

Cuadro 5.2-2. Datos censales de los distritos del cantón de Talamanca. Tomado de INEC (2012)

Año	Distritos				Población total
	Bratsi	Sixaola	Cahuita	Telire	
1973	2790	1096	1545	-	5431
1984	5030	3462	2521	-	11013
2000	10292	10234	5331	-	25857
2011	7318	8861	8293	6240	30712

5.2.1.1 Método Aritmético

Utilizando las ecuaciones 6 y 7 refiriéndose al método aritmético, los valores a utilizar en la razón de crecimientos se encuentran en el cuadro 5.2-3. Y los resultados para los distintos periodos de tiempo se muestran en el Cuadro 5.2-3. Para reducir las incertidumbres se usó el promedio en las proyecciones censales.

Cuadro 5.2-3. Valores de la razón de crecimiento aritmético

Periodo	Ka
1973 - 1984	203,64
1984 – 2000	328,88
2000 – 2011	296,91
Promedio	276,47

Por lo tanto, sustituyendo los valores en ecuación 6 de proyección se obtiene:

$$P(A) = 10292 + 274,47(A - 2000)$$

Para el ajuste de las proyecciones de la población basada en los datos censales de cantidad de habitantes para el distrito de Telire, se usará el dato obtenido mediante el método de casa equivalentes la cual es de 1575 personas como dato inicial, es un tanto conservador, puesto que toma en cuenta todas las casas existentes en el sitio sin importar si están habitadas o no. Para los siguientes cálculos se tomará el porcentaje total que representa el poblado de Amubri en el distrito en estudio, la cual es un 15,30%, en la Figura 5.2-2 y el Cuadro 5.2-4 muestra las poblaciones de Bratsi y Amubri en crecimiento, usando el método aritmético. El crecimiento de la población de Amubri es menor puesto se está comparando la población total del Cantón y de la comunidad con el objetivo de observar la tendencia de crecimiento, la cual son similares entre ellas.

Cuadro 5.2-4 . Valores de población para el distrito de Telire

Año	Población	Telire
1973	2790	-
1984	5030	-
2000	10292	1575
2005	11664	1785
2010	13037	1995
2015	14409	2205
2020	15781	2415
2027	17703	2709

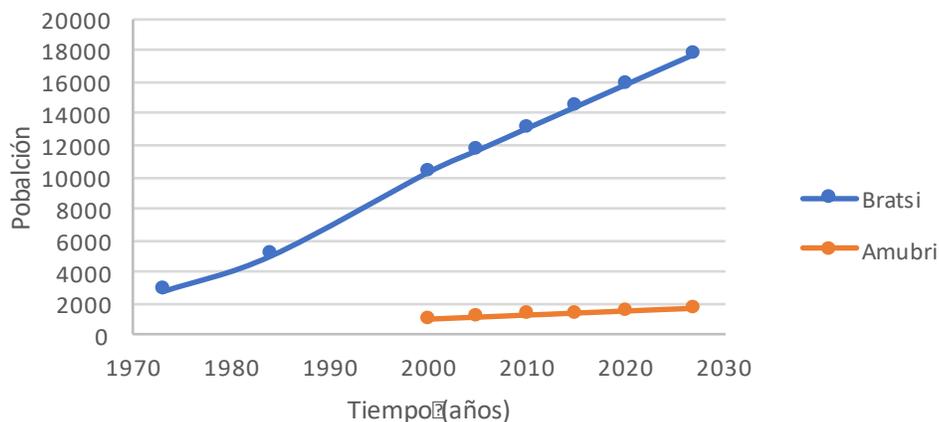


Figura 5.2-2. Comportamiento de la población de Amubri y Bratsi usado el método Aritmético

5.2.1.2 Método Geométrico

Considerando las ecuaciones 8 y 9 de la sección 3.2.2, es necesario considerar que la tasa de crecimiento r para estos estudios de una zona rural, el departamento de Acueductos Rurales del AyA (2017) consideran una tasa de 3,5% anual. A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de método geométrico en el Cuadro 5.2-5, de igual manera en la Figura 5.2-3 se muestra el comportamiento grafico de las proyecciones realizadas, por este método, la comparación radica en el comportamiento de crecimiento entre las dos poblaciones.

Cuadro 5.2-5. proyección de población según el crecimiento mediante el método geométrico

Año	Población de Amubri
2000	1575
2005	1871
2010	2222
2015	2639
2020	3134
2027	3987

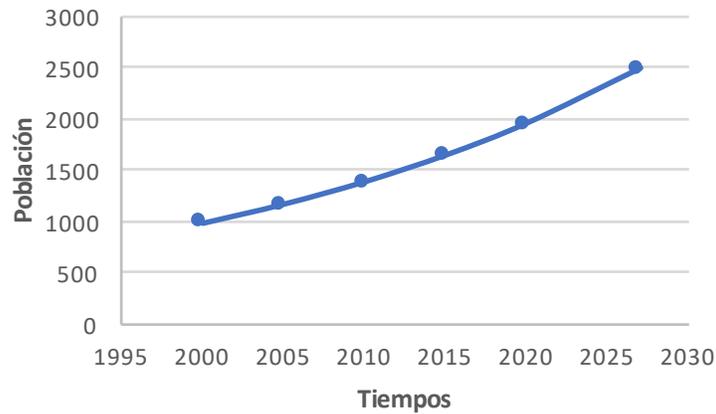


Figura 5.2-3. Proyección de la población de Amubri por el método geométrico

5.2.1.3 Método logarítmico o exponencial

Considerando las ecuaciones 10 y 11 de la sección 3.2.3, se realizó el cálculo de K como primer paso para el cálculo de las proyecciones, una vez calculado para la población, se aplicó la fórmula 12 para obtener los siguientes resultados en el Cuadro 5.2-6, en la Figura 5.2-4 se muestra el comportamiento de la población de Amubri con respecto al crecimiento de la población del cantón de Talamanca.

Cuadro 5.2-6 proyección de población según el crecimiento mediante el método logarítmico

Año	Población	Población de Amubri
1973	2790	-
1984	5030	-
2000	10292	1575
2005	12642	1934
2010	15528	2376
2015	19073	2918
2020	23428	3584
2027	31243	4780

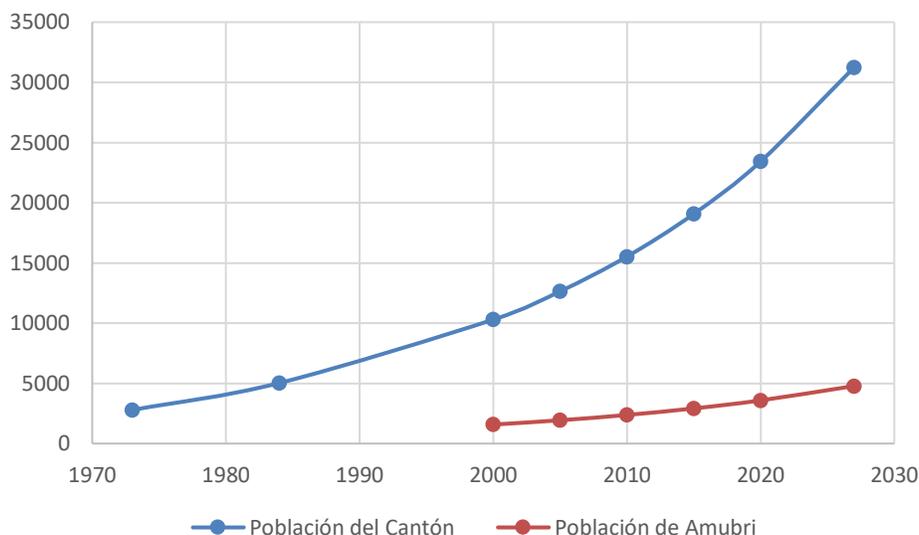


Figura 5.2-4. Proyección de la población de Amubri por el método logarítmico o exponencial

5.2.1.4 Selección de la población fija

En el Cuadro 5.2-7 resumen los resultados de las proyecciones para el mismo periodo bajo los métodos: Aritmético, geométrico y logarítmico. Es necesario considerar la condición actual del acueducto, el cual cuenta con 470 casas abastecidas para el 2016 y proyectando que en cada una de ellas hay 6 personas por recomendaciones de diseño por el AyA (2017), se puede estimar un total de 2820 personas beneficiadas por el servicio.

Cuadro 5.2-7. Poblaciones de diseño obtenidas mediante los métodos estadísticos utilizados

Año	Aritmético	Geométrico	Logaritmo
2005	1785	1871	1934
2010	1995	2222	2376
2015	2205	2639	2918
2020	2415	3134	3584
2027	2709	3987	4780

Según autores como Smith et al. (2001), se menciona que una combinación promedio de métodos en proyecciones de población, generan mayor exactitud y aumenta la validez de los datos que los métodos aplicados de manera individual; por los resultados obtenidos, el método geométrico se asemeja con mayor precisión a los datos actuales de los abonados

manejados por la ASADA de Amubri, por lo tanto, se considerará los resultados del método geométrico para las proyecciones futuras de diseño.

5.2.2 Caudales

5.2.2.1 Método volumétrico

Se realizaron cuatro aforos en el tanque desarenador utilizando el método volumétrico como se explica en la sección 4.3.1, los datos se presentan en el Cuadro 5.2-8. Se consideró las dimensiones y características del tanque las cuales son: 4 metros de largo, 3 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad para un volumen total de 18 m³ de capacidad, como se precia en la Figura 5.2-5.

Cuadro 5.2-8. Caudal de entrada en el tanque de almacenamiento mediante el método volumétrico

Fecha de muestreo	Medición	Caudal obtenido (L/s)
25/3/2016	1	10,2
26/3/2016	2	9,8
11/4/2016	3	10,6
12/4/2016	4	10,4
Promedio		10,25 L/s

Por lo tanto, el caudal apreciable para la época seca es de 10,25 L/s. Se consideró para las mediciones solo una sección del tanque, ya que es un tanque construido en paralelo.

5.2.2.2 Mediciones de caudal usando el Medidor de flujo ultrasónico

Se realizaron en total noventa y ocho mediciones usando el medidor ultrasónico serie FD613. Dichas mediciones se realizaron en época lluviosa que comprende los meses de mayo a noviembre (Esquivel, 2007), sin embargo, las mediciones estrictas se realizaron de setiembre a diciembre del 2016 en la tubería situada después del tanque desarenador. El total de las

mediciones se reportan en la sección de Apéndice 10, las cuales incluyen los promedios de cada una de las mediciones diarias y las desviaciones estándar.

El comportamiento de los datos al graficarse entre setiembre y noviembre tiene una tendencia similar (comportamiento), sin embargo, en el mes de diciembre aumento, esto se debe a presencia de bajas presiones y lluvias resultantes del paso del huracán Otto a finales de noviembre e inicios de diciembre (Alpizar, Hoos, Soto, & Loaiza, 2016). En el Cuadro 5.2-9, se presenta el resumen de los valores obtenidos en las mediciones con el medidor de flujo ultrasónico (ver Apéndice 10) y que su representación gráfica se observa en la Figura 5.2-5.

Cuadro 5.2-9. Promedios, máximo, mínimos y desviación estándar calculados en la medición de caudales estimados usando el medidor de flujo Ultrasónico

Fecha	Caudal estimado en promedio L/s	Desviación Estándar	Caudal Máximo L/s	Caudal Mínimo L/s
21/09/2016	15.83	0.88	17.48	14.77
22/09/2016	14.66	0.59	15.47	13.72
23/09/2016	17.00	1.72	20.98	15.74
24/09/2016	16.57	0.73	17.48	15.65
25/09/2016	15.86	2.21	20.98	13.99
14/10/2016	15.17	0.36	15.74	14.60
15/10/2016	15.40	1.06	17.57	14.25
16/10/2016	14.40	0.44	15.04	13.81
10/11/2016	14.15	0.63	14.95	13.37
11/11/2016	15.57	0.42	16.26	14.95
12/11/2016	14.59	0.39	15.30	13.99
02/12/2016	19.22	0.92	20.28	17.31
03/12/2016	16.21	0.76	17.48	14.86
04/12/2016	18.28	0.80	19.49	17.31

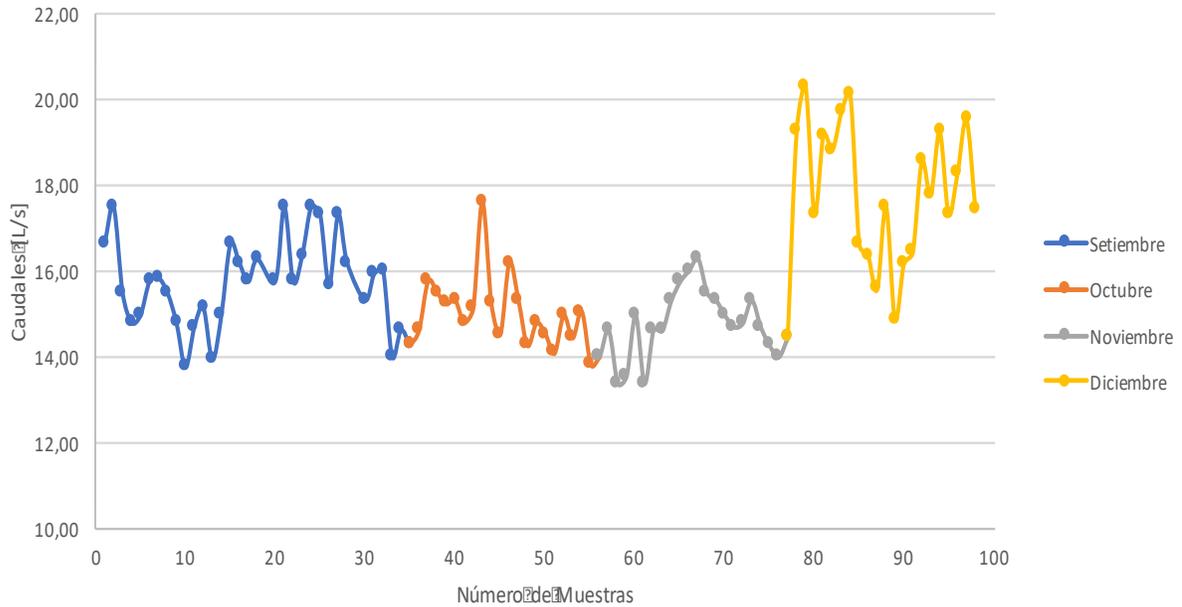


Figura 5.2-5. Medición de caudales de setiembre a diciembre del 2016 para el acueducto de Amubri usando el medidor Ultrasónico

El promedio de los caudales medidos es de 15,82 L/s, la cual representa un notorio aumento con respecto a las mediciones en época seca para el mismo sitio. Basado en el Cuadro 5.2-9 se puede apreciar que la desviación de los datos fueron bajos, por lo que los datos tienen baja dispersión entre las mediciones, implicando que los datos tienen un porcentaje de confianza aceptable. Obteniendo un promedio total de los caudales calculados tanto en invierno como para verano usando el método volumétrico la Quebrada Kashabri, se obtiene que el caudal promedio anual trasegada en la conducción es de 13,05 L/s.

5.2.2.3 Cálculo de la oferta de agua de la quebrada Kashabri

El cálculo de caudal de la fuente se realizó mediante el método de correntómetro o molinete, del cual se obtuvo que el caudal promedio en verano para la quebrada Kashabri que alimenta el acueducto de Amubri es de 27,5 L/s (11/04/2016), y los datos calculados se muestran en el Cuadro 5.2-10 y en la Figura 5.2-6 se muestra el perfil transversal de una sección de la quebrada para la obtención de las áreas. En la Figura 5.2-7 se muestra el molinete tipo telescópico utilizado en la gira de campo realizada.

Cuadro 5.2-10. Caudal de la quebrada con el método de correntómetro o molinete tipo telescópico1.

Medida	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	0	0	0,018	0,1	0,002
2	50	7	0,040	0,1	0,004
3	50	9	0,050	0,3	0,015
4	50	11	0,090	1,1	0,099
5	50	25	0,100	0,9	0,090
6	50	15	0,063	0,3	0,019
7	50	10	0,043	0,2	0,009
8	50	7	0,043	0,1	0,004
9	50	0	0,018	0,1	0,002
Promedio					0,0275

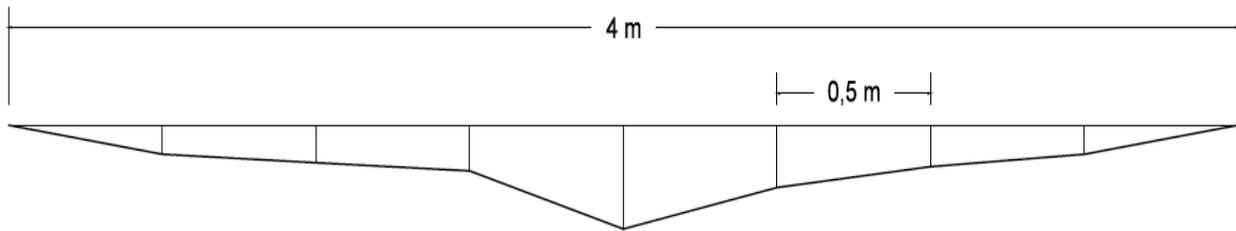


Figura 5.2-6. Diseño bidimensional de la quebrada Kashabri para la obtención de las áreas y las velocidades usando AutoCAD (2015)



Figura 5.2-7. Molinete Telescópico utilizado en la gira de campo. Marca Global y Watery modelo FP211

5.2.3 Cálculo de la oferta y demanda del acueducto

5.2.3.1 Oferta del recurso

Basado en las estimaciones de caudal realizados para la quebrada Kashabri que abastece el acueducto de Amubri, se considera que la oferta actual del recurso hídrico es del 27,5 L/s para la época de verano en la fuente. Para la oferta actual del agua captada en promedio bajo el método volumétrico y el ultrasónico se estimó una oferta de 13,05 L/s. Basado en los datos anteriores a continuación se establece la demanda del recurso hídrico para la comunidad de Amubri.

5.2.3.2 Demanda del recurso

Para este análisis, se consideró un porcentaje de máximo de pérdidas del 40% basados en los criterios recomendados en el manual de diseño del Ministerio de ambiente Vivienda, Ciudad y territorio (2010), de lo cual el manual del AyA (2017) menciona que si se conocen los datos reales de consumo por casa, se le debe agregar como mínimo un 25% por concepto de agua no contabilizada.

En los Cuadro 5.2-11 y Cuadro 5.2-12, se muestran las proyecciones de la demanda de agua bajo dos escenarios de 40% y de 40% a 25% en pérdidas respectivamente, que representa los posibles escenarios en el mejoramiento del acueducto, 40% basado en las condiciones actuales de abastecimiento y un escenario de mejoramiento paulatino de 40% a 25% de pérdidas, puesto que el acueducto no cuenta con micro medición en las casas ni macro medición de caudales en la entrada del sistema. Los resultados son obtenidos usando las ecuaciones 19, 20 y 21 con una tasa de crecimiento de la población del 3,5% anual y proyectado a 15 años (según indica la guía del AyA). En el Cuadro 5.2-13 muestra las proyecciones de demanda que podría tener el acueducto si redujera su consumo promedio de L/hab/día, así una reducción de pérdidas de un 40% a 25% en el tiempo de estudio.

Cuadro 5.2-11. Proyecciones de caudales considerando un porcentaje de perdidas constante durante el periodo de diseño de 15 años

Población	Consumo (L/hab/d)			Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal promedio horario (L/s)
	Neto	Pérdidas	Total			
2820	200	40%	280	9,14	10,97	16,45
3349	200	40%	280	10,85	13,02	19,54
3978	200	40%	280	12,89	15,47	23,20
4724	200	40%	280	15,31	18,37	27,56

Cuadro 5.2-12. Proyecciones de caudales considerando un porcentaje de pérdidas que disminuyan gradualmente de un 40% a 25% en 15 años

Población	Consumo (L/hab/d)			Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal promedio horario (L/s)
	Neto	Pérdidas	Total			
2820	200	40%	280	9,14	10,97	16,45
3349	200	35%	270	10,47	12,56	18,84
3978	200	30%	260	11,97	14,36	21,55
4724	200	25%	250	13,67	16,40	24,61

Cuadro 5.2-13. Proyecciones de caudales con una reducción de consumo promedio por personas, considerando un porcentaje de pérdidas que disminuyan gradualmente de un 40% a 25% en 15 años

Año	Población	Consumo (L/hab/d)			Caudal promedio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal promedio horario (L/s)
		Neto	Pérdidas	Total			
2016	2820	150	40%	210	6.85	8.23	12.34
2021	3349	150	35%	202.5	7.85	9.42	14.13
2026	3978	150	30%	195	8.98	10.77	16.16
2031	4724	150	25%	187.5	10.25	12.30	18.46

Basado en los resultados anteriores en Cuadro 5.2-11, se puede apreciar que para el final del periodo de diseño basado en el caudal máximo diario el déficit al final del periodo de diseño de 5,32 L/s que en términos porcentuales representa un 28,96% por lo que es necesario

implementar medidas que incluyan una mejora en la gestión del agua basándose en la disminución de pérdidas en el sistema.

Sí se considera que el acueducto va a tener un mejoramiento en el sistema de forma paulatina como se observa en el Cuadro 5.2-12, es decir si las pérdidas consideradas se disminuyen en el tiempo de un 40% a un 25% como escenario hipotético a 15 años y con un crecimiento poblacional constante del 3,5% recomendado por la guía del AyA (2017) y un consumo neto de 200 L/hab/d, el déficit de agua para el último año será de 3,35 L/s con respecto a caudal máximo diario y en términos porcentuales de un 20,4%, por lo que es necesario considerar mejores medidas de gestión y proveer el hecho de buscar nuevas fuentes de abastecimiento que garanticen a la continuidad del recurso en el tiempo, en cantidad y calidad en los dos primeros escenarios propuestos.

Sin embargo, en el tercer supuesto disminuyendo la demanda del recurso por diferentes factores como concientización de la población o regulación mediante la micromedición, los resultados fueron positivos con un superávit de 0.75 L/s en términos porcentuales es de 5,74%. Se evidencia que bajo las condiciones hipotéticas la mejor opción es mediante la implementación de mecanismos de reducción de consumos, puesto que eso evitaría (en el periodo de estudio) la búsqueda de nuevas fuentes traducidas en una inversión mayor económica que las de reducción de consumos (Christian Cofré, 2014). Pese a dicha reducción, el porcentaje de ahorro es bajo y es necesario considerar la variable de cambio climático para prevenir cambios en la capacidad futura de la captación.

Según el informe de Riesgo del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático, establece en sus proyecciones (2011-2040) que para la vertiente del caribe se van a tener las siguientes condiciones y que son de suma importancia considerar para el cálculo de la demanda y oferta del recurso hídrico para un acueducto (IMN, 2012):

- Entre enero y abril se espera una disminución de las precipitaciones (meses más secos)
- Entre mayo y agosto un aumento de las precipitaciones para nuevamente en setiembre a diciembre una disminución de las precipitaciones aumentando la época seca.

Basado en las predicciones establecidas por el IMN se hace necesario la planificación y la implementación de medidas de adaptación mediante la búsqueda de futuras fuentes de abastecimiento del acueducto para evitar déficit más grande por falta de oferta hídrica.

Por lo tanto, en la identificación de las necesidades hídricas del acueducto se observó la falta de un censo a la población abastecida de forma más exhaustiva, para generar datos con menor incertidumbre y conocer con mayor precisión la oferta del recurso hídrico y demanda de la población en el acueducto, ya que el único realizado por el INEC fue en el 2011 para la zona de Amubri y el acueducto no ha terminado el conteo de casas abastecidas. En referencia con la oferta hídrica, considerando el caudal trasegado actual en tubería de 13,05 L/s, se determinó que, para una proyección de 15 años en ambos escenarios planteados (con respecto al caudal máximo diario al final del periodo) resulta apremiante la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento y una mayor planificación de medidas de adaptación al cambio climático. Sin embargo, considerando la capacidad de la fuente en época seca se estimó una oferta total de 27,5 L/s, lo que implica que se puede considerar el mejoramiento la captación para trasegar un caudal mayor y satisfacer las futuras necesidades hídricas futuras de la población para el 2031 sin necesidad de una inversión mayor en la captación y estudio de una nueva fuente de abastecimiento.

5.3 PROPUESTAS DE MEJORA

Basado en las condiciones anteriores los riesgos identificados en el acueducto, muestra que la totalidad del sistema se encuentra en alto riesgo, puesto que en sus componentes existe alta exposición a contaminación, por la falta de infraestructura que le provea de seguridad, así como la falta de un sistema de potabilización. Por ello se hacen las siguientes propuestas de diseño para el mejoramiento de cada componente del acueducto evaluado, para los diseños el caudal máximo diario será de 18,37 L/s para pérdidas del 40%, puesto que este representa el caudal que satisface las proyecciones requeridas por el manual de diseño del AyA del 2017 y disminuye el margen de error en el mal dimensionamiento de las unidades.

5.3.1 Sistema de Tratamiento

Es necesario considerar que las recomendaciones de diseño se adaptan a las necesidades solicitadas por la Junta que administra la ASADA, al igual que las recomendaciones resultantes del diagnóstico obtenido en los muestreos, análisis e interpretación de los datos obtenidos en las secciones anteriores (5.1 y 5.2).

Inicialmente en la evaluación se consideraron las secciones que aparecen en la Figura 4.4-1 a inicios del 2016, sin embargo, en el transcurso del año, el desarenador fue deshabilitado por falta de presión en la red (segundo semestre del 2016). Pese a estos cambios y a las necesidades del acueducto para proveer agua de forma constante y de calidad, a continuación, se realizan algunas propuestas de mejoramiento.

Basado en las características de la fuente del acueducto, en los análisis de laboratorio realizados por CEQIATEC (Anexo 1), se encuentra que la presencia de coliformes fecales y *Escherichia Coli* en la captación no superan 17 NMP/100 mL según los resultados obtenidos, inclusive en el caso de la muestra 09-12-16 del anexo 1, se reporta como no detectados (ND) en la captación. En referencia a los otros parámetros de alerta se aplicó para la verificación del reglamento de calidad de agua potable (38924-S 2015) un muestreo N2 (la cual es de carácter obligatorio), para determinar si el cuerpo de agua puede ser utilizable para consumo de la comunidad, obteniendo que los resultados son todos admisibles y están debajo de lo permitido según el reglamento antes mencionado. Por lo anterior se propone en la Figura

5.3-1 los componentes recomendados en el sistema, de los cuales se va a hacer énfasis de recomendaciones y propuestas de diseño seguidamente:

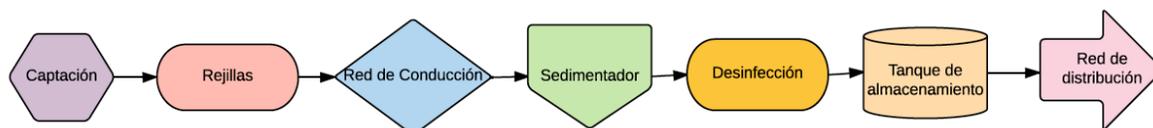


Figura 5.3-1 Propuesta para el acueducto de Amubri, basado en las necesidades actuales y de la calidad del cuerpo de agua

5.3.1.1 Captación Kashabri

Basado en las inspecciones realizadas en la captación, es necesario eliminar la malla fijada en la toma de la quebrada, la cual es usada para evitar la entrada de materiales (hojas, ramas, piedras, etc.) en la red, por lo que se debe diseñar una toma con rejillas de acuerdo con el caudal que se debe captar según los cálculos del caudal máximo diario y dicho diseño debe establecer un lugar y sistema para hacer el aforo del caudal. Para implementar mejoras en este componente se debe resolver el proceso legal entre la ASADA y el dueño de la propiedad, incluyendo la concesión del agua ante el MINAE y garantizar el abastecimiento.

Pese a que la captación se encuentra alejada de asentamientos de personas y cultivos, es necesario la colocación de una cerca perimetral para evitar la entrada de personas o animales, así como de la rotulación de la quebrada para su identificación. En la Figura 5.3-2 se muestra una propuesta de ordenamiento en la captación y evitar el uso de una malla artesanal (usada actualmente) y favorecer el control del caudal que ingresa en el sistema mediante la implementación de una estructura de captación más completa que se detalla en el Apéndice 6.



Figura 5.3-2. Propuesta de la captación

5.3.1.2 Rejillas

Basado en el diagnóstico de la metodología SERSA aplicada en acueducto, se evidenció la necesidad de una rejilla que evite el ingreso de materiales en el sistema, provocando la obstrucciones de la misma, por ello en el Anexo 4 se describen los cálculos realizados para la propuesta del diseño de las rejilla en respuesta de las necesidades del acueducto, en la Figura 5.3-3 se muestra el diseño en planta y las medidas correspondientes, así como en el apéndice 8 se muestra a más detalle la propuesta de diseño correspondiente. Cabe mencionar que la rejilla lleva un ángulo de 60° con respecto al eje horizontal del flujo del agua de la quebrada, puesto que este sirve para hacer mantenimiento de la unidad removiendo por arrastre materiales que se hayan retenido en el sistema.

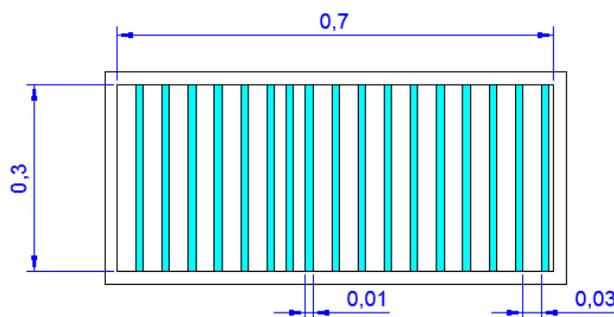


Figura 5.3-3. Propuesta de diseño de la rejilla en la captación

5.3.1.3 Desarenador

Puesto que el sistema actual solo contempla la captación y la conducción directa, se considera la construcción de un desarenador como pretratamiento, ya que la captación es de una fuente superficial, lo que implica arrastre de materiales con alto contenido de materia sedimentable y en suspensión, que se verá aumentada en temporada de lluvias dentro de la red. No se recomienda la rehabilitación del desarenador actual (deshabilitado) puesto que la estructura presenta fisuras en el concreto y deformaciones, también el hecho que la unidad actual se encuentra a 600 metros de distancia horizontal con respecto a la captación, por lo que es necesario la ubicación de esta unidad lo más cercano a la captación.

Se estima que un desarenador eficiente puede remover partículas mayores o iguales a 0,2 mm (OPS & CEPIS, 2005) por lo que el uso como pretratamiento representa un

5.3.1.4 *Tanque de almacenamiento*

Para implementar mejoras en esta sección del acueducto, es necesario resolver el proceso legal entre la ASADA y el dueño de la propiedad en el que se encuentra el tanque de almacenamiento, incluyendo la concesión del agua de la naciente, puesto que es terreno prestado y actualmente no se permite modificaciones o construcciones en el sitio, lo que representa una barrera importante para el mejoramiento.

Para inicios del 2016 el tanque de almacenamiento se encontraba fuera de funcionamiento. Dentro de las observaciones realizadas en las visitas de campo fueron: la ausencia de malla perimetral que resguardara la estructura de entrada de animales y personas (pese a encontrarse a 30 minutos aproximadamente de la casa más cercana), es necesario controlar la entrada de animales y personas para garantizar la seguridad del agua, la falta de una estructura de protección del tanque de sedimentación (no cuenta con tapa de protección, sino una lámina de zinc como se muestra en Figura 5.1-3), igualmente el tanque presentaba fisuras visibles en el concreto así como deformaciones, la estructura se encuentra expuesta a oxidación y deterioro por falta de mantenimiento y falta de pintura.

El motivo por el cual se deshabilitó el tanque fue que la ASADA consideró que el caudal en época seca era insuficiente y había sectores de Amubri que a determinadas horas no llegaba agua especialmente en las zonas más alejadas de la captación, por ello para “evitar pérdidas de presión” en la presión del sistema, deshabilitaron el tanque de almacenamiento. Según la teoría esto no es del todo cierto, puesto que la diferencia de altura obtenidas en el perfil del terreno (Figura 5.1-9) muestra que no debería de ser un problema (considerando la ubicación de la unidad), por lo que se deben de considerar otras variables como lo son las pérdidas longitudinales (la distancia de la captación al tanque ronda en los 800 m), daños en la tubería que está expuesta en todo su trayecto o conexiones ilícitas algunas ya identificadas en el revisiones realizadas a finales del 2017 por la Junta Administradora.

Sin embargo, por el alto riesgo de los actuales tanques de almacenamiento que presentan fisuras y deterioro significativo en concreto, es necesario el diseño de nuevos tanques que satisfagan las necesidades del acueducto, por ello, considerando las proyecciones de la población de la comunidad de Amubri que se describe en la sección 5.2.3.2 para un periodo de 15 años, se determinó el volumen de almacenamiento (Anexo 3) y las medidas

recomendadas para la propuesta de diseño (Apéndice 7) adaptado a las necesidades de la población. Para ello, se obtuvieron los siguientes volúmenes:

- Volumen de regulación: $317,4 \text{ m}^3$
- Volumen de reserva: $198,4 \text{ m}^3$
- Volumen de incendio: $132,4 \text{ m}^3$

Escogiendo el mayor volumen de almacenamiento para cubrir una población futura de 4724 habitantes para el 2031, el volumen de almacenamiento requerido es de 318 m^3 y un caudal de diseño de $18,37 \text{ L/s}$ para pérdidas igual al 40% (caudal máximo diario proyectado al final del periodo). Para ello se recomienda la distribución en al menos tres tanques, bajo las medidas recomendadas en el apéndice 5, de manera que permita la separación de caudales y prever mantenimiento sin suspender el servicio de agua a la comunidad. Por ser una ASADA de zona rural y sin regulaciones tarifarias, se recomienda la construcción de los tanques por etapas, dado que son tres tanques para un periodo de diseño de 15 años, se propone la construcción de un tanque cada cinco años con forme el crecimiento de la población. En la figura 5.3-5 se muestra un corte A-A' del diseño de una de las unidades de almacenamiento que se pueden ver a mayor detalle en el apéndice 9.

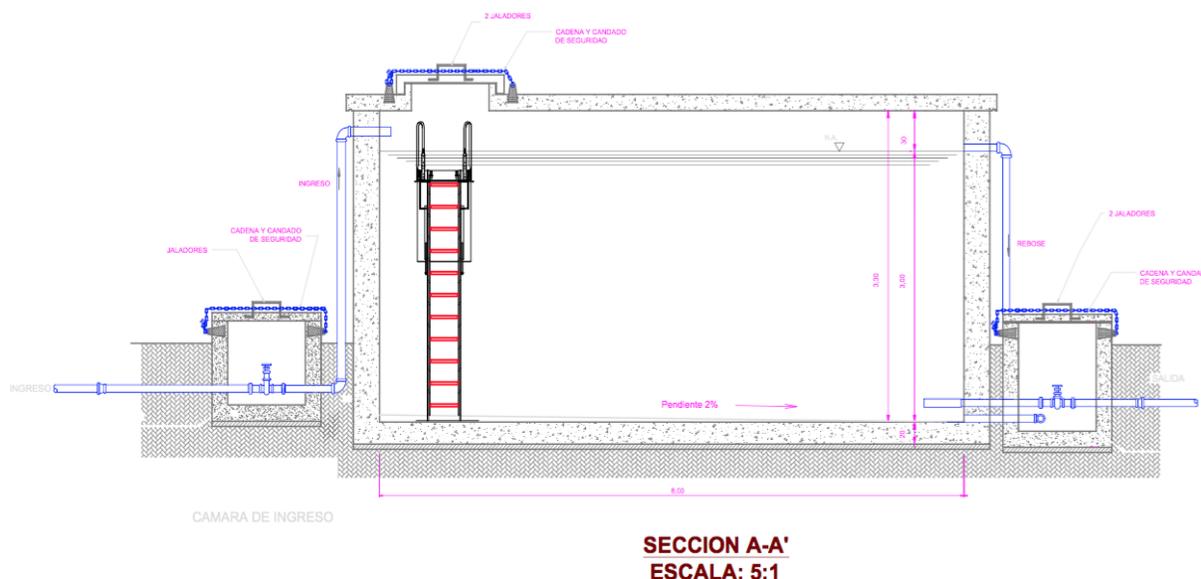


Figura 5.3-5. Propuesta de diseño del tanque de almacenamiento para el Acueducto de Amubri

5.3.1.5 Desinfección

El acueducto no cuenta con sistema de desinfección para el agua suministrada en el sistema, es decir el acueducto distribuye agua “sin desinfección” a la comunidad. En vista de lo anterior, para la propuesta de desinfección se consideró la necesidad de garantizar que el agua no contenga partículas que causen color o turbiedad mayores a la norma para evitar la formación de sus productos que afecten la salud de los abonados (Ureña, 2016). Basado en los análisis de laboratorio que se encuentra en el Anexo 1, se aprecia que las turbiedades reportadas para todos los muestreos son menores a 5 UNT y las otras observaciones mencionadas en el apartado 5.3-1. Sin embargo, se recomienda realizar muestreos para verificar el cumplimiento de estos parámetros cuando se presentan lluvias dado que la fuente es una corriente superficial.

Para la determinación de la propuesta de desinfección, se realizaron dos muestreos en la fuente que abastece la comunidad, con una diferencia de 2 semanas entre cada muestreo. Estos muestreos fueron realizados con el fin de determinar la demanda de cloro de la fuente que se usa como abastecimiento del acueducto y así establecer la concentración y la dosis a aplicar según caudal. La cloración como forma de desinfección presenta una buena persistencia en los sistemas de distribución de agua, pues presentan propiedades residuales que pueden medirse fácilmente y vigilarse en las redes después que el agua ha sido tratada y está para ser usada por los usuarios, la dosificación es sencilla, confiable y de bajo costo (Méndez & Solsona, 2002)

Se realizaron dos muestreos para obtener la dosis óptima de cloro. Basado en el método que se describe en el Apéndice 1, en la Figura 5.3-6 se muestra el resultado del punto de quiebre óptimo, el cual coincidió con la concentración establecida en el reglamento de agua potable de 0.3 a 0.6 mg/L de cloro residual libre, el resultado obtenido para el punto de quiebre fue para la dosis de hipoclorito de sodio de 1,80 mg/L, el cloro residual libre obteniendo fue de una concentración de 0,52 mg/l y para el cloro combinado de 0,73 mg/L.

La Figura 5.3-6 está dividida en tres sectores, según la teoría (Hach Company, 2015), en el sector I se da la formación de monocloramias (NH_2Cl) cuando el cloro agregado reacciona con la materia orgánica presente en las muestras al existir un exceso de amoníaco, luego este compuesto se transforma en dicloraminas (NHCl_2) cuando estas son formadas se sigue aumentando la dosis de cloro hasta que se desciende la concentración de dicloraminas,

puesto que se ha consumido todo el nitrógeno (punto de quiebre), este salto genera el inicio del sector III de la figura la cual representa el inicio de formación de cloro residual libre en exceso.

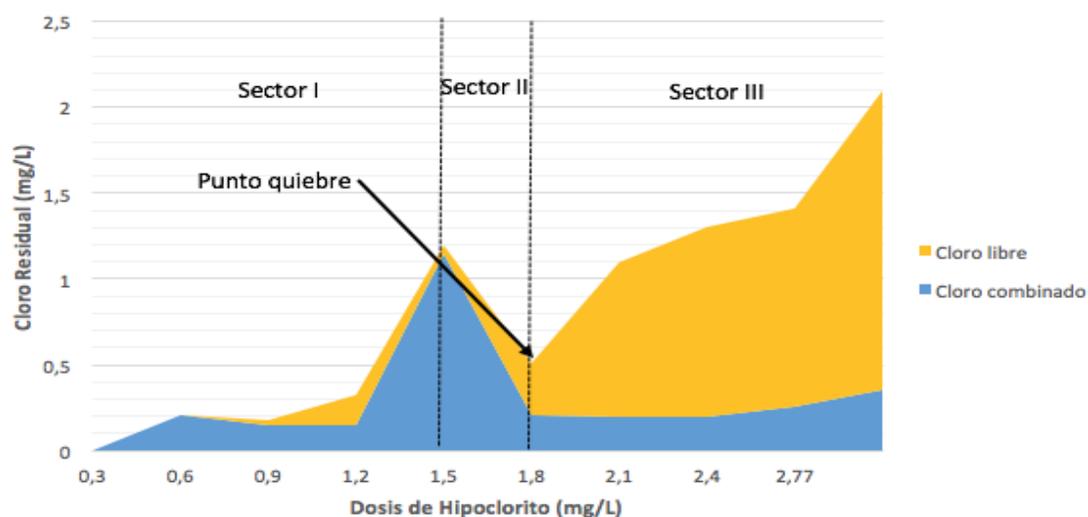


Figura 5.3-6 Curva de la demanda de cloro para la quebrada Kashabri, elaborada el día 28/03/2017

Para la determinación del caudal de cloración, se consideró el caudal de entrada de 18,37 L/s actual y con la dosis óptima de 2,10 mg/L de hipoclorito de Sodio y usando la ecuación 22 descrita en el apéndice 1, se obtuvo que es necesario un caudal de cloración igual a 8,26 L/s. Para este caso se hace la recomendación de la cloración como un método más económico usando pastillas de cloro de $C_3Cl_3N_3O_3$ pues poseen una pureza del 90% y comprobadas para el uso en la desinfección para agua de consumo por lo que se recomienda para su futura implementación (Gongyi City, 2016).

5.3.2 Vigilancia y Control de Pérdidas

Toda el agua que se extrae de las fuentes para ser transportada por la red de distribución urbana o rural y que no se convierte en un ingreso monetario para la empresa/institución de agua, puede considerarse un “pérdida”. Esa pérdida puede expresarse en volumen de agua en determinado periodo (día, mes, semestre, año, etc.), o en equivalente en dinero (Instituto

Mexicano de Tecnología del agua, 2007). Para Costa Rica se manejan pérdidas que rondan entre el 40% hasta los 25% (AyA, 2017).

Una forma efectiva de conservar el recurso y ahorrar dinero es mediante la reducción de pérdidas de agua potable a través de la reparación de fugas en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias, en casas habitación y en el cuadro del medidor. Existen dos tipos de fugas: las visibles y las no visibles. Las primeras son aquellas que se presentan en los derrames de tanques, o las que emergen hacia la superficie del terreno, aunque estén localizadas a una distancia considerable del punto donde fueron descubiertas, como en zonas de una gran pendiente. Las segundas se infiltran en el suelo o drenan hacia las tuberías del alcantarillado o canales (Bourguett & Ochoa, 2003).

Según el Instituto de Acueductos y Alcantarillado que mayoría de las fugas en los sistemas ocurren en las conexiones domiciliarias y se deben, principalmente, a uno o varios de los factores siguientes: mala calidad de los materiales utilizados, problemas de construcción e incumplimiento de la normatividad.

Para el acueducto de Amubri se evidenció mediante la metodología SERSA que tiene un nivel alto de riego en todas las secciones evaluadas, como es el caso de la conducción (expuesta en todo el trayecto de la toma al tanque de almacenamiento), por ello es necesario contar con un plan para la identificación y el control de pérdidas. Por ello el Instituto Mexicano de tecnología del Agua, recomienda un modelo de 9 pasos para el diagnóstico de pérdidas lograrlo, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y que puede ser aplicable y recomendado para el Acueducto en estudio.

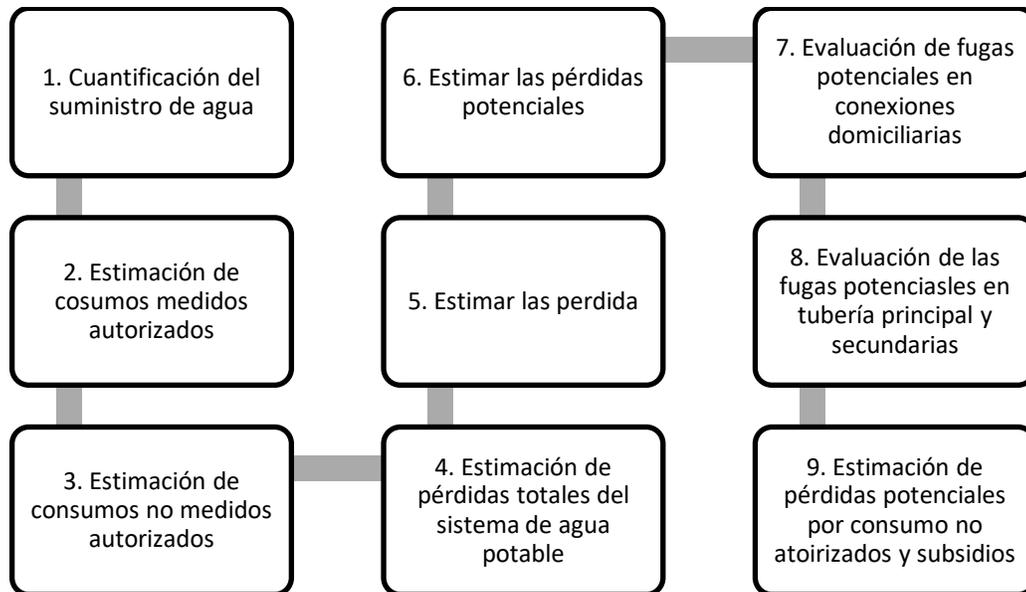


Figura 5.3-7. Modelo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para el diagnóstico e identificación de pérdidas (2003) recomendado para

Por ello mediante una serie de etapas de mediano a largo plazo se recomienda que la junta de la ASADA de Amubri implemente la metodología elaborada por el Instituto mexicano de Tecnología del agua (IMTA) la cual consiste en una serie de etapas para aplicar y así reducir las pérdidas en los acueductos mediante la ejecución de sub-proyectos como se muestra en la Figura 5.3-8.

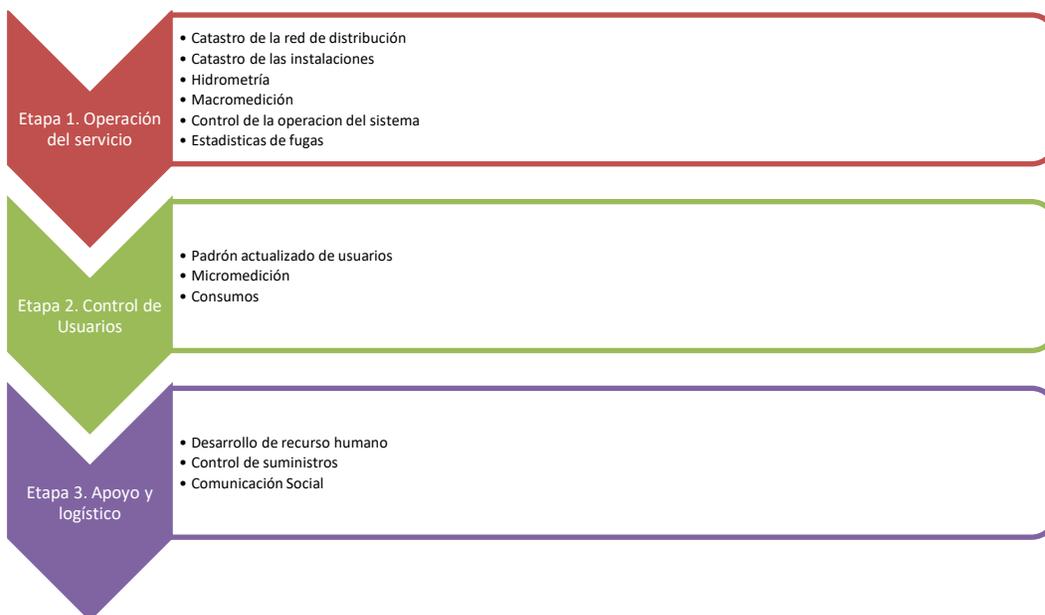


Figura 5.3-8. Propuesta de programa de control de pérdidas a mediano y largo plazo según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2003)

Mediante la evaluación del acueducto en sus componentes y la fuente, así como el análisis de oferta y demanda de recurso hídrico se realizó la propuesta para el mejoramiento en el sistema basados en lo propuesto en la Figura 5.3-1. En la cual se destaca la necesidad de implementar mallas perimetrales en cada uno de los componentes propuestos, así como la necesidad de implementación de rejillas en la captación, un desarenador que remueva material particulado y sedimentos del agua captada, el tanque de almacenamiento que permita prever eventualidades en la red, como la implementación de un sistema de cloración para el mejoramiento de la calidad del agua como el aseguramiento y prevención de enfermedades a causa del consumo de agua. También se evidencia la carencia de la vigilancia y el control de pérdidas que son vitales para el mejoramiento general del acueducto, así como la reducción de costos futuros en la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento.

6. CONCLUSIONES

Con la evaluación de los componentes del acueducto de la comunidad de Amubri usando el instrumento SERSA se determinó que la totalidad de los componentes analizados (captación, conducción, desarenador, almacenamiento y distribución) se obtuvo un riesgo alto.

El acueducto no cuenta con un sistema de potabilización ni de desinfección y es evidenciado en los muestreos y análisis de laboratorio, en el que todas las muestras presentaron coliformes fecales, totales y E. Coli que sobrepasaron el máximo permitido por el reglamento de agua potable, lo que representa que el agua suministrada por el acueducto no es apta para consumo humano.

Mediante los muestreos realizados en los distintos puntos estratégicos como captación, tanque de almacenamiento, en casas de algunos abonados y establecimientos públicos, se evidenció la conformidad de los parámetros evaluados con respecto al reglamento de agua potable de Costa Rica (38924-S) en las siguientes variables de N1 y N2: olor, sabor, turbiedad, temperatura, pH, conductividad y metales pesados, por lo que las aguas de la quebrada Kashabri es aceptable para el aprovechamiento, pero necesitan de un tratamiento de desinfección para garantizar que sea apta para consumo humano.

Se obtuvo que el caudal aproximado para la quebrada Kashabri en época seca es de 27,5 L/s, sin embargo, el porcentaje de agua trasegada en tubería llega a ser del 47,47% del total en época crítica, lo que implica la necesidad del mejoramiento de la captación para evitar escases de agua en verano, por deficiencias en la captación. Por ello mediante un mejoramiento en la captación (aprovechamiento hasta un 90% de la fuente contemplando el caudal ecológico) evitaría la búsqueda de nuevas fuentes de agua.

En referencia con el análisis de oferta y demanda del recurso hídrico para un periodo de 15 (2016 – 2031) años recomendado por el AyA y para las condiciones actuales de acueducto, los dos escenarios planteados para una demanda de 4724 habitantes final de periodo con un consumo promedio de 200 L/hab/día y bajo las condiciones actuales del acueducto en ambos casos (los dos escenarios planteados) el caudal trasegado por la tubería de 13,05 L/d presentaría un déficit de hasta un 29%, para un caudal máximo diario requerido en el periodo de vida útil de 18,37l/s, implicando la necesidad de rediseñar la conducción de captación a tanques, componente que no fue objeto de diseño de este estudio.

En referencia a la propuesta de mejoramiento, se recomienda la implementación de un macro-medidor de caudal para identificar posibles pérdidas importantes en la red, así como el mejoramiento de las estimaciones en el cálculo de la dosificación adecuada de cloro en la desinfección y finalmente evitar el desperdicio del recurso. Igualmente se recomienda la implementación de micro medición de agua, para generar mayor conciencia en la población en el ahorro del recurso.

Para todas las unidades propuestas se recomienda la implementación de mallas perimetrales en cada una de las unidades, con el fin de garantizar la seguridad de cada una de las unidades de la entrada de animales o personas que podría atentar con la seguridad del agua.

Se obtuvo que la dosis óptima de cloro para las características del agua de Amubri es de 2,10 mg/L de hipoclorito de sodio para un caudal de cloración igual a 8,26 L/s, para ello se recomienda el uso de pastillas de cloro $C_3Cl_3N_3O_3$ ya que poseen una pureza del 90% y según el mercado son las más económicas.

Para el aseguramiento del agua, se recomienda el seguimiento y medición de la calidad del agua mediante el acatamiento del reglamento de agua potable de Costa Rica (38924-S) del 2015 para el muestreo y monitoreo de los cuerpos de agua según en su anexo 1 de frecuencia mínima de muestreo para el control operativo.

Se recomienda que a la ASADA solucione los permisos de concesión del agua con el MINAE y procurar un acuerdo de compra o permisos con el dueño del terreno en el que está ubicada la captación, el desarenador y los tanques de almacenamientos actuales, para que la ASADA pueda tomar decisiones más libres en el mejoramiento del acueducto, así como en su mantenimiento.

Se recomienda la realización de un mayor número de aforos de caudales de la quebrada de abastecimiento en época seca, para mantener un registro y vigilancia de las variaciones, además de garantizar el caudal ecológico si se desea aumentar la cantidad de caudal captado en la quebrada de Kashabri, así como implementación de un Plan para la Seguridad del Agua (PSA) para el seguimiento y mejoramiento del todo el acueducto en general.

6.1 RECOMENDACIONES

Dado que los datos utilizados para generar las proyecciones de crecimiento poblacional de Amubri fueron mediante estimaciones y análisis de predomios por el método de casa equivalentes, implica que los datos arrastran incertidumbre en comparación a los datos reales, por lo que se recomienda hacer un censo de la población abastecida para generar proyecciones de demanda del recurso con mayor exactitud y precisión.

Realizar un levantamiento topográfico y cartográfico de todo el sistema de abastecimiento de agua.

Tomar muestras en la quebrada de Kashabri para análisis de coliformes fecales durante condiciones de lluvia para calcular el índice de calidad de agua 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.

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

Se recomienda la realización de un mayor número de aforos de caudales de la quebrada de abastecimiento en época seca, para mantener un registro y vigilancia de las variaciones, además de garantizar el caudal ecológico si se desea aumentar la cantidad de caudal captado en la quebrada de Kashabri, así como implementación de un Plan para la Seguridad del Agua (PSA) para el seguimiento y mejoramiento del todo el acueducto en general.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alpizar, N., Hoos, G., Soto, N., & Loaiza, V. (26 de Noviembre de 2016). La huella imborrable de Otto, el primer huracán que cruzó Costa Rica. *La Nación*.
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). *VARIACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN ÓRDENES DE SUELOS DE COSTA RICA*. Obtenido de Agronomía Costarricense: www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Primera ed ed.). Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Arias, D., & Solano, J. (2009). *Programa de capacitación para guías turísticos locales en territorio indígena de Talamanca. Proyecto de Graduación para la obtención de bachillerato en Gestión de Turismo Sostenible*. Cartago, Costa Rica: ITCR.
- Asamblea Legislativa. (Agosto de 1970). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. Recuperado el 2016, de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=3160&nValor3=68692¶m2=1&strTipM=TC&IResultado=4&strSim=simp
- Ávalos, Á. (30 de Marzo de 2001). *Estancada calidad del agua*. Recuperado el Noviembre de 2016, de La Nación: http://www.nacion.com/ln_ee/2001/marzo/30/pais1.html
- AyA. (2003). Diagnostico de sistemas de agua potable . *Diagnostico de la Región Chorotega* . Costa Rica.
- AyA. (19 de marzo de 2007). *Norma para el diseño de proyectos de abastecimiento de agua potable*. Recuperado el 2016, de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos30867.pdf>
- AyA. (2008). *Situación Actual del Saneamiento Ambiental en Costa Rica*. San José: AyY. Obtenido de <http://www.progai.ucr.ac.cr/documentos/institucional/AYA%20Situacion%20actual%20de%20saneamiento%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- AyA. (22 de Setiembre de 2017). *Norma Técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento Pluvial*. Recuperado el 2017, de La Gasetta:

- <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20diseño%20y%20construcción%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>
- Barahona, A. (2010). *Gestión de agua en cuencas Transfronterizas*. Recuperado el 2016, de OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA:
https://cmsdata.iucn.org/downloads/3_5_fasciculo_4___operacion_y_mantenimiento.pdf
- Barrios, C., Torres, R., Lampoglia, T., & Agüero, R. (2009). *Guía de Orientación en Saneamiento básico para Alcaldías y Municipios Rurales*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#2.3_____Principales_sistemas_rurales_de_abastecimiento_de_agua
- Basán, M. (2008). *Aforadores de Corriente de agua*. Obtenido de Curso de Hidrología:
https://inta.gob.ar/documentos/curso-de-aforadores-de-corrientes-de-agua/at_multi_download/file/INTA-%20curso%20aforadores%20de%20agua.pdf
- Basán, M. (2010). *Curso de Aforadores de Corrientes de Agua*. Recuperado el 2016, de Gobierno de Argentina: [http://inta.gob.ar/documentos/curso-de-aforadores-de-agua/at_multi_download/file/INTA-%20curso%20aforadores%20de%20agua.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/curso-de-aforadores-de-corrientes-de-agua/at_multi_download/file/INTA-%20curso%20aforadores%20de%20agua.pdf)
- Bejarano, E. (2013). *Diagnostico del Acueducto de Santa Cruz y propuesta de mejora*. (I. L. Zamora, Ed.) San Pedro, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Bolaños, L. (2015). *Clasificación de Fotografías no Supervisadas*. Informe de Campo, I.T.C.R, Escuela de Ingeniería Forestal.
- Borge, C., & Castillo, R. (1997). *Cultura y conservación en la*. San José: EUNED.
- Bourguett, V., & Ochoa, L. (2003). *REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE*. México DF: Universidad de México.
- C.C.S.S. (2003). *INFORME SOBRE LAS CONDICIONES DE SANEAMIENTO*. San José. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsapi/e/paises/costarica/informe.pdf>
- Camacho, A., Giles, M., Ortigón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velázquez, O. (2009). *Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable*

- o NMP) . Recuperado el 2017, de Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf
- Carazo, F. (2004). *Estudio de factibilidad fomento al turismo cultural Río Yorkín*. Recuperado el 04 de 2017, de http://www.parksinperil.org/files/estudio_turismo_yorkin.pdf
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2005). *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales* . Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú: OPS.
- Christian Cofré, N. V. (2014). *Guía Mejores Técnicas Disponibles*. Oficina de Ingeniería Para la Sostenibilidad . Chile: Universidad de Chile.
- Crittenden, J., Hand, D., Howe, K., Tchobanoglous, G., & Trusell, R. (2012). *MWH's Water treatment: Principles and Design*. (3era Edición ed.). Hoboken, NJ, U.S: John Wiley & Son.
- Dercon, G. (2014). *Water conveyance by pipelines, aqueducts, and water tankers*. Recuperado el 2017, de Water Resources Management: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea59e/ch17.htm>
- Díaz, C. (Junio de 2003). *Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados por aguas domésticas*. Obtenido de Reacción en el punto de quiebre: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/contenido/capitulo14.html>
- Edzwald, J., & Tobiasson, J. (2011). Chemical principles, source water composition, and watershed protection. En *In Water quality and treatment*. McGraw-Hill. Obtenido de In Water quality and treatment.
- EPA. (october de 2016). *Small Entity Compliance Guide for National Primary Drinking Water Regulations: Stage I Disinfectant/Disinfection By-Products Rule*. Obtenido de Environmental Protection Agency: Small Entity Compliance Guide for National Primary Drinking Water Regulations: Stage I Disinfectant/Disinfection By-Products Rule
- Esquivel, C. (2007). *Diseño de un Acueducto Integrado para la comunidad de Mazanillo en la provincia de Limón*. Limón, Limón, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

- Estado de la Nación. (2014). *ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE*. Programa Estado de la Nación (PEN). San José: La Nación; La Republica.
- FAO. (2015). *Measurement Streamflow*. Recuperado el Diciembre de 2016, de Estimating the total quantity of runoff by empirical methods: <http://www.fao.org/docrep/t0848e/t0848e-09.htm>
- Fraquet, J. (2005). *Cálculo hidráulico de las conducciones libres y forzadas: Una* (Primera ed.). Tortosa, España: Universidad Internacional de Cataluña y de la Asociación de Ingenieros.
- Gamboa, J. (2014). *Aforo de Cauce del Río Purires, Empleando Diferentes Métodos de Medición*. Informe , Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Cartago.
- Gongyi City. (2016). *Tcca granular/tabletas/pintura en polvo, 90% tabletas de cloro desinfectante, tcca 90% cloro granular*. Obtenido de Gongyi City Xianke Water Supply Material Co: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/tcca-granular-tablets-powder-90-chlorine-tablets-disinfectant-tcca-90-chlorine-granular-713052442.html>
- Hach Company. (2015). *Chlorination, Chloramination and Chlorine Measurement*. Obtenido de Analytical Reference Service Report : https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwi0897ui9TSAhUBdSYKHUAFAM8QFggfMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.hach.com%2Fasset-get.download.jsa%3Fid%3D20055535006&usg=AFQjCNF7e6Xj0drdHanmSq0WE6t4D-q_wQ&sig2=XazMjMYMabq53Tb-F_FBeA&bvm=bv.149397726,d.eWE
- Herrera, S., & Rodríguez, L. (2011). Evaluación de la eficiencia de un humedal artificial. Bucaramnga: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7524/2/142284.pdf>
- IMN. (2005). Atlas Climático de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- IMN. (2012). *Riesgo Hídrico del Sector Hídrico de Costa Rica ante el Cambio Climático*. (D. d. Aplicada, Ed.) Obtenido de

- http://cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod-1/Documentos/riesgo_futuro.pdf
- INEC. (2011). Población total por zona y sexo, según provincia, cantón y distrito. *Censo de la población en temas especiales de la Población*. Costa Rica.
- Instituto Mexicano de Tecnología del agua. (2007). *Conceptos de reducción y control de pérdidas, y de sectorización de redes de distribución*. Mexico D.F: Centro Virtual de Información del agua.
- James, E. (2009). *THE AQUEDUCTS OF ANCIENT ROME*. Obtenido de <http://www.romanaqueducts.info/aquapub/dembskey2009Rometxt1.pdf>
- Jiménez, J. (2010). Manual para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. Xalapa, México. Obtenido de <http://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Leal, M. (2014). *Tecnologías convencionales de Tratamiento de agua y sus limitaciones* (Primera ed.). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf
- Lenntech BV . (2016). *Water Treatment*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>
- López, P. (2000). *Prácticas de Laboratorio Química Sanitaria II*. Manual Teórico Práctico.
- López, R. (2003). *Elementos de diseño de acueductos y alcantarillados* (2da edición ed.). Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- López, R. (2010). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados* (Segunda Edición ed.). Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Méndez, J., & Solsona, F. (2002). *Desifeción del Agua*. (C. & OPS, Productor) Obtenido de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>
- MINAE. (20 de Mayo de 2004). Reglamento. *Manual de la Dirección de Aguas* , 1(98), pág. 24. Obtenido de <http://www.dse.go.cr/es/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Ambiente/Aguas/ManualTecnicoDpto.pdf>

- Ministerio de Salud Pública. (2015). *Reglamento para la Calidad del Agua*. (L. Gaceta, Ed.) Recuperado el 11 de 2016, de DECRETO EJECUTIVO No 38924-S: http://www.agq.com.es/documentos/DE_289_Decreto_No_38924_S_Reglamento_para_calidad_agua_potable.pdf
- Moreno, I. (2006). *Diseño de una red de distribución de las comunidades de Tigrito, Mataruca y el Pardillal*. Recuperado el Diciembre de 2016, de Universidad Simón Bolívar: <http://159.90.80.55/tesis/000130946.pdf>
- Murillo, D. (2014). Porcentaje de la población cubierta con agua clorada por cantones, 2014 (mapa). *Contribución especial realizada para el Vigésimoprimer Informe Estado de la Nación (PEN)*. Estado de la Nación, San José, Costa Rica.
- Murillo, R. (Setiembre de 2016). Uso del Medidor de Flujo Ultrasónico. *Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil*. (E. Vividea, Entrevistador) San José, Costa Rica.
- Olivera, M., & Ramírez, R. (2013). *DIAGNOSTICO DEL CANTÓN DE TALAMANCA*. Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos, Investigación, San José. Obtenido de https://exnet.mivah.go.cr/Documentos%5Cinvestigaciones_diagnosticos%5Cdiagnosticos_planes_intervencion%5C2013%5CTALAMANCA%5CDIAGNOSTICO_TALAMANCA_FRONTERA.pdf
- Omega Engineering. (2008). *Ultrasonic Flow Meter FDG13*. Recuperado el 2016, de Manual Instruction : <https://www.omega.com/manuals/manualpdf/M3238.pdf>
- OMS. (Noviembre de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. (WHO Media centre) Recuperado el Diciembre de 2016, de Centro de Prensa: Agua: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- OPS & CEPIS. (2005). *Organización Panamericana de la Salud*. Recuperado el 2017, de Guía para el diseño de sedimentadores y desarenadores : <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Ortega, D. (2012). *Hidrometría Básica: Aplicada a la Operación de Distritos y Unidades de Riego* (Primera Edición ed., Vol. 1). México: IANL.

- Pino, M. (2014). Abastecimiento de Agua Potable . *Opciones tecnológicas en abastecimiento de agua*. Cartago, Costa Rica.
- Poder Ejecutivo. (25 de agosto de 2015). Decreto N° 38924-s. *La Gasetta*. Obtenido de http://www.agq.com.es/documentos/DE_289_Decreto_No_38924_S_Reglamento_para_calidad_agua_potable.pdf
- Rivera, L. (2013). *Diagnóstico del acueducto de Filadelfia de Carrillo y propuestas para su mejoramiento*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Rodríguez, S. (2010). Dureza del Agua. Bahía Blanca: U.T.N. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
- Rodríguez, S. (2013). Evaluación de las fuentes superficiales de la red fluvial del Río Avangares para el refuerzo del acueducto de las Ciudad de Las Juntas. San José, Costa Rica.
- Salazar, R. (2012). Caracterización de sistemas agroecológicos para el establecimiento comercial de cacao orgánico (*Theobroma cacao*) en Talamanca. *Tecnología en Marcha*, 25(N° 5), 45-54. Obtenido de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/473/401
- Silva, H. (2013). *Investigación en saneamiento ambiental en Costa Rica*. San José: Consejo Nacional de Prevención de riesgos y atención a emergencias. Obtenido de <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc5341/doc5341.pdf>
- Silva, H. (2013). *Investigación en Saneamiento Ambiental en Costa Rica*. . Recuperado el Diciembre de 2016, de Consejo Nacional de Prevención de riesgos y atención a emergencias: <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc5341/doc5341.pdf>
- Soto, C. (2015). Sistema de Información Geográfica. *Curso de SIG*. Cartago, Costa Rica.
- Tencio, E. (2014). *Desarrollo de una metodología de diseño para un acueducto rural basado en los estándares de Project Management Institute*. (I. W. Caravaca, Ed.) San Pedro, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Torres, J. (2008). *Material Didactico para Asignatura de Acueductos y Alcantarillados*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

- UNA, A. (Junio de 2013). El agua de Costa Rica. *REVISTA SEMESTRAL DE LA ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES*. Obtenido de <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientales/45.pdf>
- Ureña, L. (2016). *Evaluación de la oferta y demanda del recurso hídrico - propuesta de mejoras para el sistema de acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Carrera de Ingeniería Ambiental, Cartago. Obtenido de Ureña Vargas, L. V. (2016). “Evaluación de la oferta y demanda del recurso hídrico - propuesta de mejoras para el sistema de acueducto de San Isidro de El Guarco, Cartago, Costa Rica.” Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Valverde, J. (2009). *Riego y Drenaje* (2da Edición ed.). San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia (UNED).
- 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)*. Obtenido de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/151/1/402_Vega_Serrano_Haimar_Ariel_2013_Documento.pdf

8. APÉNDICES

APÉNDICE 1: MÉTODO DE CURVA DE DEMANDA DE CLORO

Procedimiento:

Primeramente, de una muestra de 2000 ml, se aforó en una probeta 100 mL del agua y se vertió a un beaker de 100 mL, este procedimiento se realizó en 10 beaker, a cada uno se le añadió una dosis de la solución estándar de Ácido Tricloisocianurico ($C_3Cl_3N_3O_3$) bajo las concentraciones del cuadro A.1-1, además de un beaker extra como testigo con 100 mL de agua destilada en un beaker al que se le añadió 1,0 mL solución estándar de Ácido Tricloisocianurico.

Cuadro 6.1-1. Dosis utilizada de Hipoclorito de Sodio para la determinación de cloro libre y combinado en agua cruda.

Erlenmeyer No.	Contenido	Solución estándar de Hipoclorito de Sodio 300 mg/L (mL)
1	Agua Cruda	0,1
2	Agua Cruda	0,2
3	Agua Cruda	0,3
4	Agua Cruda	0,4
5	Agua Cruda	0,5
6	Agua Cruda	0,6
7	Agua Cruda	0,7
8	Agua Cruda	0,8
9	Agua Cruda	0,9
10	Agua Cruda	1,0
Testigo	Agua Desionizada	1,0

Cada muestra se agitó con un agitador de vidrio y se les midió el pH con un pH-metro inmediatamente después de agregar la disolución de Ácido Tricloisocianurico ($C_3Cl_3N_3O_3$). Además, cada muestra se dejó en reposo durante 30 minutos. Se desfasó la dosificación 5 minutos entre matraz y matraz, para poder llevar un control más riguroso del tiempo de reacción como se muestra en la figura A.1-1



Figura 6.1-1. Muestra con viraje de color a rosado en presentación de comparador de cloro

Seguidamente se cubrieron los matraces con Papel Parafilm o con tapón de hule. Y al final del tiempo de reacción (2 min) con el equipo disponible, se midió cloro residual total, cloro residual libre y combinado (mono y dicloroamina) usando el medidor de cloro Termo Scientific Orion como se observa en la figura A.1-2.



Figura 6.1-2. Medidor de Cloro utilizado para la elaboración de la curva de cloro para las muestras de agua de Amubri, marca Orión

Para la determinación de caudal de cloración en el sistema propuesto, se realizará mediante la siguiente ecuación:

$$Q_1 = \frac{Q_2 * C_2}{C_1} \quad (22)$$

Donde:

- C_1 = Concentración de cloro aplicada.
- Q_2 = Caudal de entrada al tanque.
- C_2 = Concentración de cloro requerido según el reglamento (se toma como referencia 0,45 mg/L el punto medio entre el intervalo recomendado por la norma).
- Q_1 = Caudal de cloro requerido.

APÉNDICE 2: LOCALIZACIÓN DEL SITIO EN ESTUDIO USANDO LA HERRAMIENTA QGIS 2.18

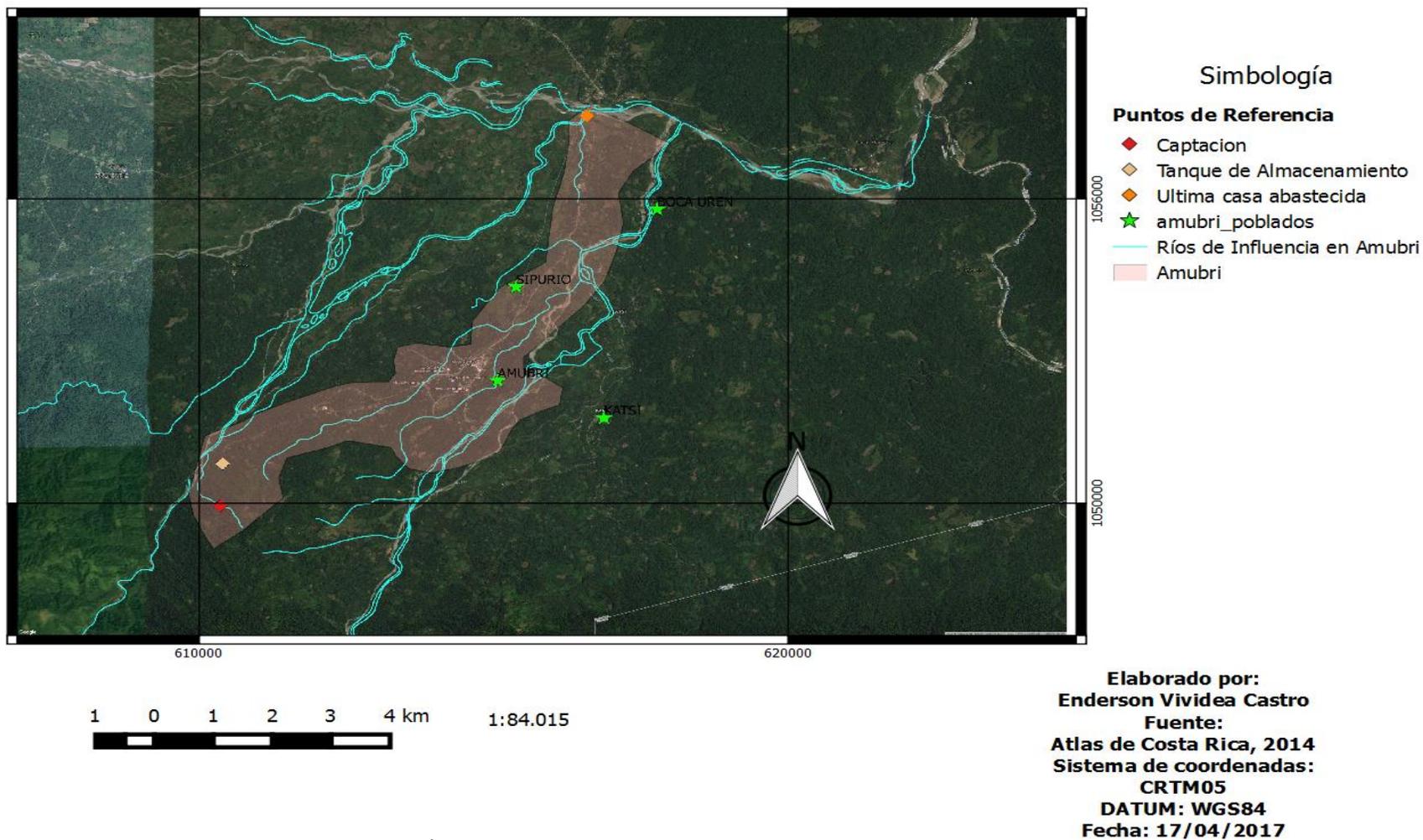


Figura 6.12-1. Área específica de estudio, Amubri del distrito de Telire en el Cantón de Talamanca

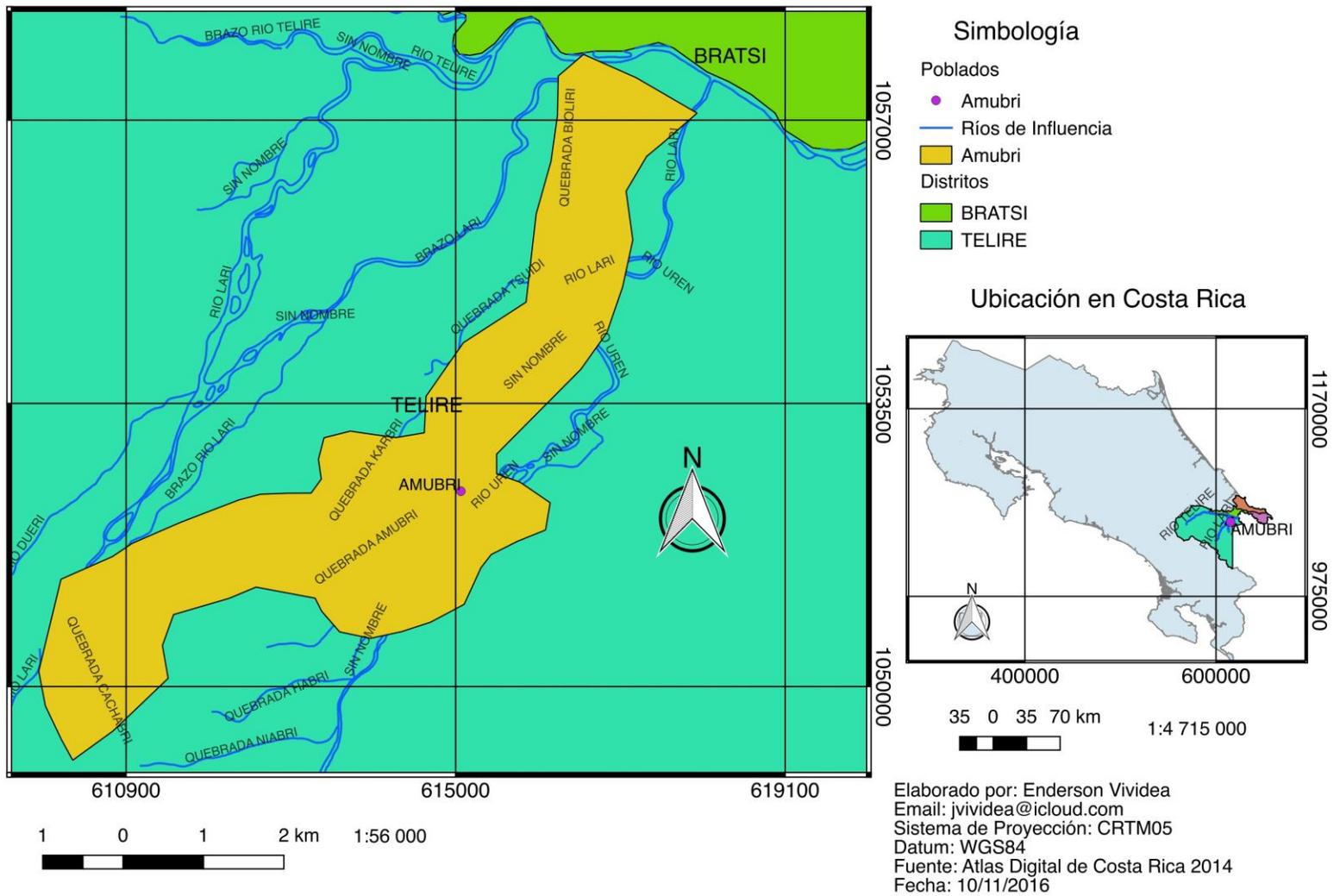


Figura 6.12-2. Ubicación del proyecto en Costa Rica

APÉNDICE 3: CLASIFICACIÓN DE FOTOGRAFÍAS NO SUPERVISADAS

Se trata de un método iterativo que requiere relativamente poca intervención humana, siendo usual que el analista deba especificar (Soto, 2015):

- Número máximo de clúster que el algoritmo debe identificar
- Máximo porcentaje de píxeles cuyos valores se permite permanezcan incambiables entre iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Máximo número de iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.

Las especificaciones anteriores se refieren a las características de la fotografía satelital, para que esta sea aceptada como una clasificación no supervisada, ya que se basa en el hecho de obtener la mayor cantidad de información de lugar por las características de la radiación de los objetos en infrarrojo. Por ejemplo, un bosque primario va a emitir radiaciones en espectros de bandas clasificables, la infraestructura igual, las carreteras o suelo descubierto otro espectro clasificable y así sucesivamente con las variables que deseamos extraer (Bolaños, 2015).

La Fotografía seleccionada tiene las siguientes características de formato la cual aparece en la siguiente imagen A.3-1. Se puede ver en la imagen A.3-2, que la fotografía satelital seleccionada está posicionada en la zona de interés que es en el distrito de Telire, por lo que es una fotografía ideal para hacer la clasificación no supervisada.

Data Set Attribute	Attribute Value
Entity ID	LE70140532011091ASN00
Acquisition Date	2011/04/01
WRS Path	14
WRS Row	53
Satellite	Landsat7
Zone Number	17
Datum	WGS84
Resampling Technique	CC
Orientation	NUP
Scene Size	196725605
Product Type	L1T
Sun Azimuth	99.2232542
Sun Elevation	61.6697983
Gap Fill Percent	
Gap Fill Acquisition Date	
Registration Acquisition Date	
Center Latitude	10°07'08.22"N
Center Longitude	82°30'06.55"W
NW Corner Lat	11°03'02.48"N
NW Corner Long	83°11'20.08"W
NE Corner Lat	10°48'02.30"N
NE Corner Long	81°27'51.34"W
SE Corner Lat	9°11'04.42"N

Figura 6.13-1. Características de la fotografía satelital seleccionada para la clasificación no supervisada. Tomado de <http://earthexplorer.usgs.gov/>

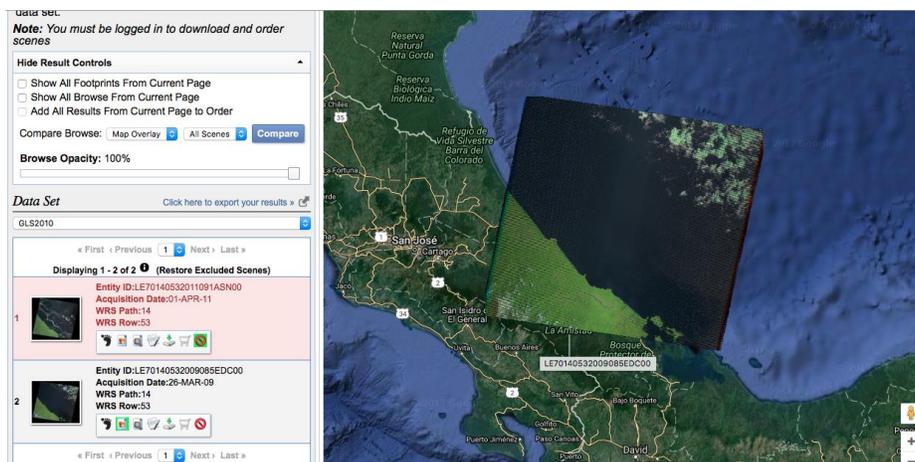


Figura 6.13-2. Identificación de la posición correcta de la imagen seleccionada para el estudio. Tomada de <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Usando el software QGIS 2.18, usando la configuración inicial (sistema de referencias CRTM05), se realizó la clasificación no supervisada y luego se valoró la cobertura existente, para realizar el conteo necesario de viviendas, escuelas, lotes, etc. para complementar el Apéndice 4.

APÉNDICE 4: MÉTODO DE CASAS EQUIVALENTES

Dada la clasificación y cuantificación de la infraestructura mediante el método de clasificación de fotografías de forma no supervisadas se obtuvieron los datos que aparecen en el cuadro A.4-1, refiriéndose a las cantidades obtenidas. En cuanto a las casas equivalentes, son los resultados de la multiplicación de cantidades obtenidas por los factores de consumo que aparecen en el cuadro 3.2-1 de la metodología.

Cuadro 6.1. Desglose de sitios para el cálculo de casa equivalentes

Cantidades obtenidas	Tipo de prevista	Casas equivalentes
1	Colegio	2
2	Escuela	4
2	Negocios	2
3	Iglesias	9
1	Área comunal	3
1	Plaza	1
1	Cementerio	1
1	EBAIS	2
64	Parcelas	64
141	Lotes	70,5
104	casas	104
	Total	262,5

Para zonas rurales se consideran 6 personas por casa, por lo que se proyecta un total de 1575 personas para la comunidad de Amubri para el año 2000 (AyA, 2007)

APÉNDICE 5: HOJA DE CÁLCULO PARA VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO

Cálculo del Volumen de almacenamiento

Datos Iniciales		
	Dato	Unidad
Caudal Máximo Diario*	18,370	L/s
	66,132	m3/h
	0,018	m3/s
	1587,168	m3/d
* Dado que no existen registros de caudales máximo diarios para el acueducto, se utilizó el caudal promedio obtenido de los muestreos para el acueducto		

Volumen de regulación (Vr) =	317,4	m3
$V_r = C * QMD * t_r$		
Coeficiente de regulación (C) :	0,2	
0,15 a 0,3 para tanques semienterrados		
QMD (caudal máximo Diario) en m3/d		
Tiempo de retención (tr)	1	d
Mínimo un día		

Volumen de reserva (Vre):	198,4	m3
$V_{re} = 3,6 * QMD * t_{re}$		
QMD (caudal máximo Diario)	18,37	L/s
Tiempo de reserva (tre)	3	h
Entre 2 a 4 horas		

Volumen contra incendios (Vi)	132,3	m3
$V_{re} = 3,6 * QMD * t_i$		
0		
QMD (caudal máximo Diario)	18,37	L/s
Tiempo de reserva (ti)	2	h
Entre 2 a 4 horas		

APÉNDICE 6: HOJA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL DESARENADOR

Cálculo de Diseño del Desarenador

Caudal de Diseño (QD)	9,185	L/s
	33,066	$\frac{m^3}{h}$
	0,0092	m ³ /s
Gravedad	9,81	m/s ²
Densidad del agua (ρ_w)	1000	kg/m ³
Densidad de Partículas (ρ_s)	1220	kg/m ³
Diámetro de Partículas (d)	0,1	mm
	0,001	m
Temperatura	20	°C
Velocidad cinemática (V)	1,00586E-06	m ² /s
$v = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$		
Velocidad de sedimentación	0,046	m/s
$V_s = \frac{g^{0,8} \times \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right)^{0,8} \times d^{1,4}}{10 \times v^{0,6}}$		
Verificación del N de Reynolds (Re)	46,048466	En el rango
$Re = \frac{V_s \times d}{v}$		
Velocidad de Sedimentación Crítica	0,15439395	m/s
$V_{sc} = \frac{V_s}{f}$		
f: 10%-30% se tomo 25%		

Área Superficial (As)	0,059	m ²
$As = \frac{D}{V_c}$		
Ancho B	0,6	m
mínimo 0,6 m		
Alto (H)	0,5	m
mínimo 0,5		
Largo (L)	4,8	M
L/B: 7 - 12		
Relación L/B	7	

Velocidad de escurrimiento horizontal (Vh)	0,031	m/s
$V_h = \frac{Q}{B \times H}$		
Velocidad de arrastre de partículas (Va)	0,17	m/s
$V_a = \sqrt{40 \times (\rho_s - \rho_w) \times g \times \frac{d}{(3 \times \rho_w)}}$		
No hay resuspensión Va > Vh		
Velocidad de sedimentación Crítica (Vsc)	0,0032	m/s
$V_{sc} = \frac{Q}{B \times L}$		

APENDICE 7: CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA REJILLAS

Cálculo de Diseño de Rejillas

Sección de la Bocatoma		
$A_T = A_S + A_f$		
A _t = Sección de la bocatoma en m ² A _s = Sección total de las barras en m ² A _f = Sección de flujo en m ²		
Variable	Dato	Unidades
Q	0,02475	m ³
C	1,7	-
V _a	0,6	m/s
s	0,012	m
a	0,03	m
	60	°
l	0,3	m
	1,79	-

el 90% de caudal en época de verano, dejando el caudal ecológico (10%)

Barras circulares

Sección de Flujo		
$A_f = \frac{c * Q}{\xi * V_a}$		
Variable	Dato	Unidades
	0,457	m
$\xi = \varphi * \left[\frac{s}{a} \right]^{\frac{4}{3}} * \sin \alpha$		
Variable	Dato	Unidades
A _f	0,153	m ²
Cálculo del número de barras		
$A_f = l * a * (n + \#1)$		
Variable	Dato	Unidades
n	16	UN
Área total de las barras		
$A_s = n * s * l$		
Variable	Dato	Unidades
A _s	0,06	m ²

Área Total		
Variable	Dato	Unidades
A _s	0,21	m ²

APÉNDICE 8: PROPUESTA DE DISEÑO DEL DESARENADOR Y LA MALLA PERIMETRAL PARA EL ACUEDUCTO DE AMUBRI

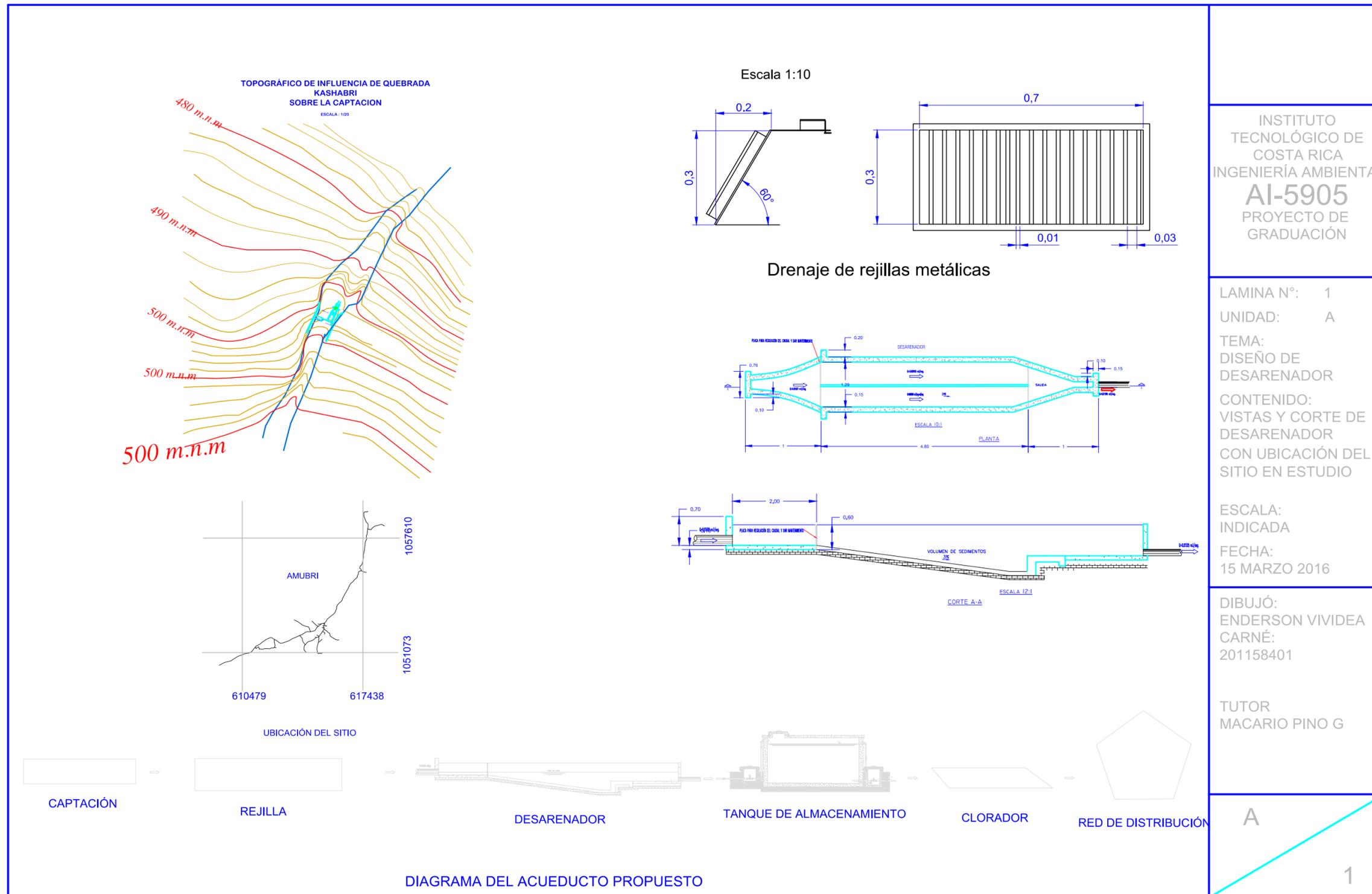
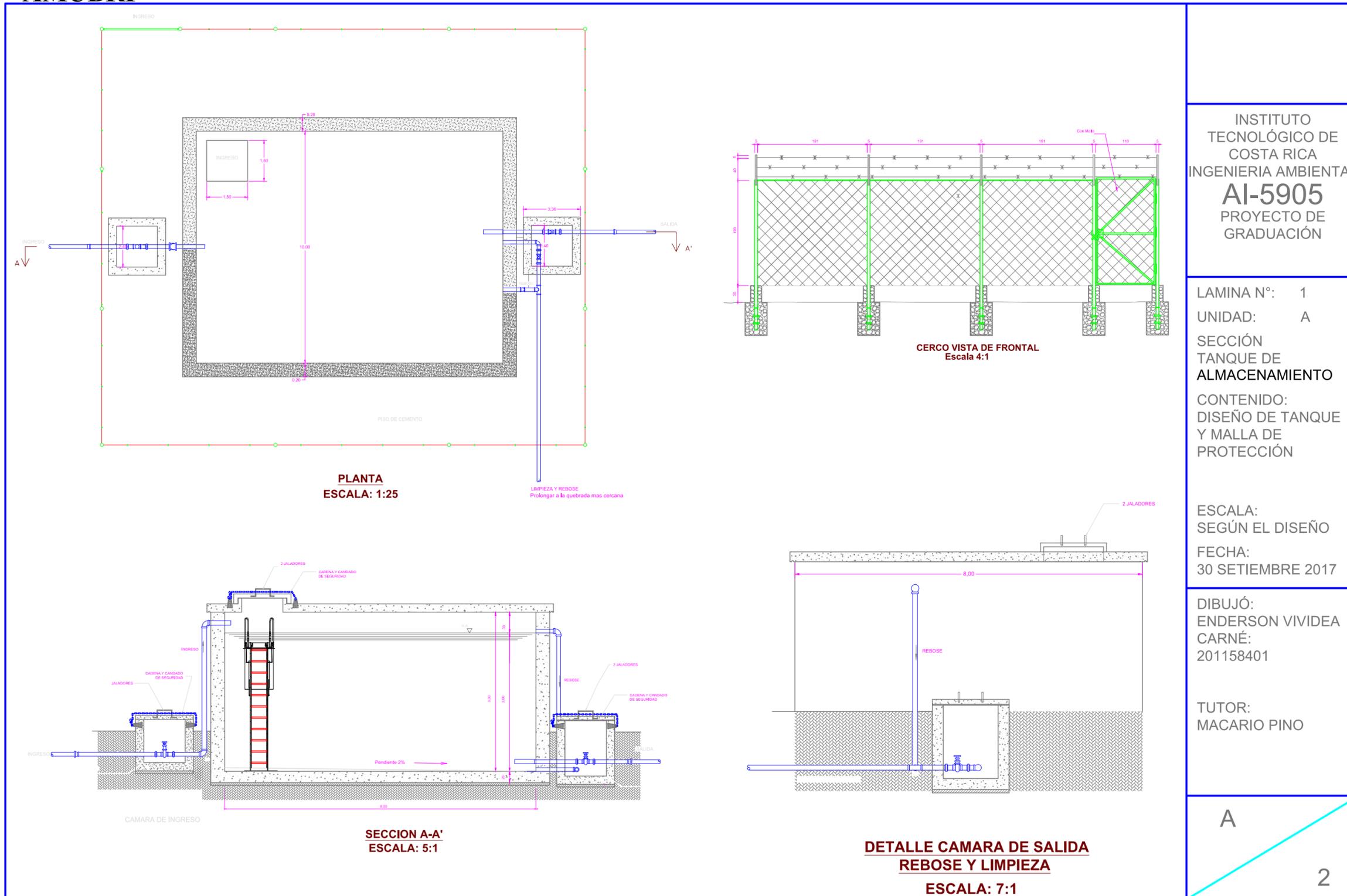


Figura A.8-1 Propuesta de diseño del desarenador para el acueducto de Amubri

APÉNDICE 9: PROPUESTA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA EL ACUEDUCTO DE AMUBRI



INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE
COSTA RICA
INGENIERIA AMBIENTAL
AI-5905
PROYECTO DE
GRADUACIÓN

LAMINA N°: 1
UNIDAD: A
SECCIÓN
TANQUE DE
ALMACENAMIENTO
CONTENIDO:
DISEÑO DE TANQUE
Y MALLA DE
PROTECCIÓN
ESCALA:
SEGÚN EL DISEÑO
FECHA:
30 SETIEMBRE 2017

DIBUJÓ:
ENDERSON VIVIDEA
CARNÉ:
201158401
TUTOR:
MACARIO PINO

A
2

Figura A.9-1 Propuesta de diseño del tanque de almacenamiento para el acueducto de Amubri

**APÉNDICE 10: DATOS DE MEDICIONES DE CAUDAL USANDO EL
MEDIDOR DE FLUJO ULTRASÓNICO**

Cálculo de Caudales del Acueducto de Amubri

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
21/9/16	1	1,90	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,61
21/9/16	2	2,00	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,48
21/9/16	3	1,77	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,47
21/9/16	4	1,69	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,77
21/9/16	5	1,71	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,95
21/9/16	6	1,80	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,74
21/9/16	7	1,81	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,82
Promedio							15,83
Desviación							0,88

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
22/9/16	1	1,77	105,5	PVC	52,75	0,00874	15,47
22/9/16	2	1,69	105,5	PVC	52,75	0,00874	14,77
22/9/16	3	1,57	105,5	PVC	52,75	0,00874	13,72
22/9/16	4	1,68	105,5	PVC	52,75	0,00874	14,69
22/9/16	5	1,73	105,5	PVC	52,75	0,00874	15,12
22/9/16	6	1,59	105,5	PVC	52,75	0,00874	13,90
22/9/16	7	1,71	105,5	PVC	52,75	0,00874	14,95
Promedio							14,66
Desviación							0,59

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
23/9/16	1	1,90	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,61
23/9/16	2	1,85	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,17
23/9/16	3	1,80	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,74
23/9/16	4	1,86	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,26
23/9/16	5	2,40	105,5	PVC	52,75	0,0087	20,98
23/9/16	6	1,80	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,74
23/9/16	7	2,00	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,48
Promedio							17,00
Desviación							1,72

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
24/9/16	1	1,80	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,74
24/9/16	2	1,87	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,35
24/9/16	3	2,00	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,48
24/9/16	4	1,98	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,31
24/9/16	5	1,79	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,65
24/9/16	6	1,98	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,31
24/9/16	7	1,85	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,17
Promedio							16,57
Desviación							0,73

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
25/9/16	1	2,40	105,5	PVC	52,75	0,0087	20,98
25/9/16	2	1,75	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,30
25/9/16	3	1,82	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,91
25/9/16	4	1,83	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,00
25/9/16	5	1,60	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,99
25/9/16	6	1,67	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,60
25/9/16	7	1,63	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,25
Promedio							15,86
Desviación							2,21

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
14/10/16	1	1,67	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,60
14/10/16	2	1,80	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,74
14/10/16	3	1,77	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,47
14/10/16	4	1,74	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,21
14/10/16	5	1,75	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,30
14/10/16	6	1,69	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,77
14/10/16	7	1,73	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,12
Promedio							15,17
Desviación							0,36

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
15/10/16	1	2,01	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,57
15/10/16	2	1,74	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,21
15/10/16	3	1,66	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,51
15/10/16	4	1,85	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,17
15/10/16	5	1,75	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,30
15/10/16	6	1,63	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,25
15/10/16	7	1,69	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,77
Promedio							15,40
Desviación							1,06

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
16/10/16	1	1,66	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,51
16/10/16	2	1,61	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,07
16/10/16	3	1,71	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,95
16/10/16	4	1,65	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,42
16/10/16	5	1,72	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,04
16/10/16	6	1,58	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,81
16/10/16	7	1,60	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,99
Promedio							14,40
Desviación							0,44

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)
10/11/16	1	1,67	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,60
10/11/16	2	1,53	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,37
10/11/16	3	1,55	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,55
10/11/16	4	1,71	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,95
10/11/16	5	1,53	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,37
10/11/16	6	1,67	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,60
10/11/16	7	1,67	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,60
Promedio							14,15
Desviación							0,63

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)	
11/11/16	1	1,75	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,30	
11/11/16	2	1,80	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,74	
11/11/16	3	1,83	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,00	
11/11/16	4	1,86	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,26	
11/11/16	5	1,77	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,47	
11/11/16	6	1,75	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,30	
11/11/16	7	1,71	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,95	
							Promedio	15,57
							Desviación	0,42

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)	
12/11/16	1	1,68	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,69	
12/11/16	2	1,69	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,77	
12/11/16	3	1,75	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,30	
12/11/16	4	1,68	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,69	
12/11/16	5	1,63	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,25	
12/11/16	6	1,60	105,5	PVC	52,75	0,0087	13,99	
12/11/16	7	1,65	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,42	
							Promedio	14,59
							Desviación	0,39

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)	
2/12/16	1	2,20	105,5	PVC	52,75	0,0087	19,23	
2/12/16	2	2,32	105,5	PVC	52,75	0,0087	20,28	
2/12/16	3	1,98	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,31	
2/12/16	4	2,19	105,5	PVC	52,75	0,0087	19,14	
2/12/16	5	2,15	105,5	PVC	52,75	0,0087	18,79	
2/12/16	6	2,25	105,5	PVC	52,75	0,0087	19,67	
2/12/16	7	2,30	105,5	PVC	52,75	0,0087	20,11	
							Promedio	19,22
							Desviación	0,92

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)	
3/12/16	1	1,90	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,61	
3/12/16	2	1,87	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,35	
3/12/16	3	1,78	105,5	PVC	52,75	0,0087	15,56	
3/12/16	4	2,00	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,48	
3/12/16	5	1,70	105,5	PVC	52,75	0,0087	14,86	
3/12/16	6	1,85	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,17	
3/12/16	7	1,88	105,5	PVC	52,75	0,0087	16,43	
							Promedio	16,21
							Desviación	0,76

Fecha	Medición	Velocidad (m/s)	Diametro interno (mm)	Material	Radio (mm)	área de la sección (m2)	Caudal (L/s)	
4/12/16	1	2,12	105,5	PVC	52,75	0,0087	18,53	
4/12/16	2	2,03	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,75	
4/12/16	3	2,20	105,5	PVC	52,75	0,0087	19,23	
4/12/16	4	1,98	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,31	
4/12/16	5	2,09	105,5	PVC	52,75	0,0087	18,27	
4/12/16	6	2,23	105,5	PVC	52,75	0,0087	19,49	
4/12/16	7	1,99	105,5	PVC	52,75	0,0087	17,40	
							Promedio	18,28
							Desviación	0,80

APÉNDICE 11: RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA SERSA

Formularios y guías del proceso de vigilancia de la calidad del agua Registro de Sistema de Abastecimiento de Agua – ASADA Amubri – Distrito Telire - Cantón Talamanca

FICHA DE CAMPO 1 TOMA DE AGUA SUPERFICIAL (río, quebrada, otro)

I-) INFORMACION GENERAL	
<p>Fecha: <u>5 de marzo del 2016</u> Nombre acueducto: <u>Acueducto de Amubri</u> Nombre toma: <u>Quebrada Kashabri</u> Número de registro en MINAE _____ Registro en Dirección de ARS _____ Encargado del acueducto: <u>Erick Pereira</u> Teléfono: <u>+506 8493 8373</u> Nombre del funcionario: <u>Enderson Vividea Castro</u> Frecuencia de limpieza: Nunca () Mensual (x) Semanal () Diario () Otro () Especificar</p>	

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
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. ¿Está la toma de agua ubicada dentro de alguna zona de actividad agrícola? (crítica)		x
5. ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma (letrinas, animales, viviendas, basura o industrias, etc.)? (Observar si aproximadamente a 200 metros a la redonda existen letrinas, animales, viviendas, basura) (crítica)		x
6. ¿Está la captación con acceso fácil de personas y animales? (crítica)		x
7. ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas y otros)?	x	
8. ¿Existe presencia de plantas (raíces, hojas y otros) tapando las rejillas de la toma?	x	
9. ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma de agua?	x	
10. ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua?		x
TOTAL, FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	5	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Riego Alto	

FICHA DE CAMPO 4
TANQUES DE ALMACENAMIENTO

I-) INFORMACION GENERAL	
<p>Fecha: <u>5 de marzo del 2016</u></p> <p>Nombre acueducto: <u>Acueducto de Amubri</u></p> <p>Nombre toma: <u>Quebrada Kashabri</u></p> <p>Número de registro en MINAE _____</p> <p>Registro en Dirección de ARS _____</p> <p>Encargado del acueducto: <u>Erick Pereira</u></p> <p>Teléfono: <u>+506 8493 8373</u></p> <p>Nombre del funcionario: <u>Enderson Vividea Castro</u></p> <p>Frecuencia de limpieza: Nunca () Mensual (x) Semanal () Diario () Otro () Especificar</p>	

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento	SI	NO
1. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbadas (metálico)? (crítica)		X
2. ¿Está la tapa del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? (crítica)	X	
3. ¿Es el borde de cemento alrededor del tanque menor a 1 metro?	X	
4. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (crítica)	X	
5. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque?		X
6. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?	X	
7. ¿Está ausente o defectuosa la cerca de protección?	X	
8. ¿Carece la tapa de un sistema seguro de cierre (candado, cadena, tornillo)?	X	
9. ¿Carece el tanque de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? (crítica)		X
10. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial) (crítica)		X
TOTAL, FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	6	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Riesgo Alto	

FICHA DE CAMPO 4
TANQUES DE ALMACENAMIENTO 2

I-) INFORMACION GENERAL	
<p>Fecha: <u>5 de marzo del 2016</u></p> <p>Nombre acueducto: <u>Acueducto de Amubri</u></p> <p>Nombre toma: <u>Quebrada Kashabri</u></p> <p>Número de registro en MINAE _____</p> <p>Registro en Dirección de ARS _____</p> <p>Encargado del acueducto: <u>Erick Pereira</u></p> <p>Teléfono: <u>+506 8493 8373</u></p> <p>Nombre del funcionario: <u>Enderson Vividea Castro</u></p> <p>Frecuencia de limpieza: Nunca () Mensual (x) Semanal () Diario () Otro () Especificar</p>	

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento	SI	NO
11. ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? (critica)	X	
12. ¿Está la tapa del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? (critica)		X
13. ¿Es el borde de cemento alrededor del tanque menor a 1 metro?		X
14. ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? (critica)	X	
15. ¿Está el nivel del agua menor que 1/4 del volumen del tanque?		X
16. ¿Existen sedimentos, algas u hongos dentro del tanque?	X	
17. ¿Está ausente o defectuosa la cerca de protección?	X	
18. ¿Carece la tapa de un sistema seguro de cierre (candado, cadena, tornillo)?	X	
19. ¿Carece el tanque de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? (critica)		X
20. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial) (critica)		X
TOTAL, FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	6	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Riesgo Alto	

FICHA DE CAMPO 5
LÍNEA DE CONDUCCIÓN

I-) INFORMACION GENERAL	
<p>Fecha: <u>5 de marzo del 2016</u></p> <p>Nombre acueducto: <u>Acueducto de Amubri</u></p> <p>Nombre toma: <u>Quebrada Cachara</u></p> <p>Número de registro en MINAE _____</p> <p>Registro en Dirección de ARS _____</p> <p>Encargado del acueducto: <u>Erick Pereira</u></p> <p>Teléfono: <u>+506 8493 8373</u></p> <p>Nombre del funcionario: <u>Enderson Vividea Castro</u></p> <p>Frecuencia de limpieza: Nunca () Mensual (<input checked="" type="checkbox"/>) Semanal () Diario () Otro () Especificar</p>	

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo en la línea de conducción	SI	NO
1. ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? (crítica)	X	
2. ¿Se encuentra la línea de conducción descubierta, con riesgo de ser alterada?	X	
3. ¿Se encuentra la línea de conducción en lugares colindantes sin el adecuado soporte? (critica)	X	
4. ¿Se encuentran debidamente separadas las aguas provenientes de manantiales y nacientes con respecto a las aguas superficiales? (critica)		X
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de conducción?		X
6. ¿La unión de la línea de conducción con la toma de agua o captación está asegurada contra posibles contaminaciones? (critica)		X
7. ¿Carece de válvulas de control anterior a la entrada al tanque de almacenamiento?	X	
8. ¿Existen hongos, moho, etc. en la superficie de las tuberías?	X	
9. ¿Se Carece de sistema para purgar y desfogue de aire en la tubería de conducción? (critica)	X	
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de conducción (planos o croquis)?	X	
TOTAL, FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	7	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Riesgo Alto	

FICHA DE CAMPO 6

LINEA DE DISTRIBUCIÓN

I-) INFORMACION GENERAL	
<p>Fecha: <u>5 de marzo del 2016</u></p> <p>Nombre acueducto: <u>Acueducto de Amubri</u></p> <p>Nombre toma: <u>Quebrada Kashabri</u></p> <p>Número de registro en MINAE _____</p> <p>Registro en Dirección de ARS _____</p> <p>Encargado del acueducto: <u>Erick Pereira</u></p> <p>Teléfono: <u>+506 8493 8373</u></p> <p>Nombre del funcionario: <u>Enderson Vividea Castro</u></p> <p>Frecuencia de limpieza: Nunca () Mensual (<input checked="" type="checkbox"/>) Semanal () Diario () Otro () Especificar</p>	

II-) DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA		
Identificación de factores de riesgo en la línea de distribución	SI	NO
1. ¿Existen uniones ilícitas que pongan en riesgo la calidad del agua en la red de distribución? (critica)		X
2. ¿Se carece de micro medidor?	X	
3. ¿No se realizan pruebas periódicas de cloro residual en la red de distribución? (critica)	X	
4. ¿Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución? (crítico)	X	
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?	X	
6. ¿Se carece de válvulas de control de presiones y para realizar reparaciones en la red de distribución sin necesidad de quitar todo el servicio de agua a la comunidad?	X	
7. ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? (crítica)		X
8. ¿Se Carece de sistema para purgar en la tubería de distribución?	X	
9. ¿Existe conexiones cruzadas de red de aguas negras con la red de distribución de agua potable? (critica)		X
10. ¿Se carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?	X	
TOTAL, FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (total de "si")	7	
Nivel de riesgo identificado (Número de X) Nulo=0; Bajo 1-2; Intermedio 3-4; Alto 5-7; Muy alto 8-10	Riesgo Alto	

9. ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: Proyecto Regionalización de Talamanca, ITCR	Fecha Muestreo: 17-04-16
Tipo de Muestra: Agua potable	Fecha Recepción: 18-04-16
Solicitado por: Ing. Macario Pino	Fecha Reporte: 29-04-16
Dirección: Amubri, Talamanca	Código Muestra: 510416
Tipo de Muestreo: Puntual	Muestreado por: El cliente
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Número de muestra	Descripción	Coliformes Fecales NMP/100 mL (*)	<i>Escherichia coli</i> NMP/100 mL (*)
1	Captación	17	17
2	Tanque de almacenamiento	33	33
3	Centro turístico, tubo de lavandería	130	130

Observaciones

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

(**) Ensayos no acreditados.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recibida el día indicado en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Las muestras se presentaron en envases no estériles que no cumplen lo indicado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22^{ed.} 2012 APHA-AWWA-WEF en lo referente a recipientes para muestreo de análisis microbiológico, por lo que los resultados no son concluyentes.

El Reglamento para la Calidad de Agua Potable Decreto #38924-S del Ministerio de Salud recomienda que el agua debe tener un valor recomendado de "no detectable" para coliformes fecales y *E.coli* por lo que la muestra analizada no cumpliría con este requerimiento.

Metodología:

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 22^{ed.} 2012 APHA-AWWA-WEF. (Límite de detección: < 1,8 NMP/100 mL)

Para los análisis de *E. coli* se utilizó la Técnica de NMP por LXM®. (Límite de detección: < 1,8 NMP/100 mL)

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 5 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Fabiola Jiménez Rodríguez
Regente Microbiología

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Actividad: El recurso hídrico fuente para abasto humano y para actividades productivas en comunidades indígenas de Amubri, Shuabb Bambú, Cantón de Talamanca y comunidades de la Cureña, Cantón de Puerto Viejo de Sarapiquí.	Fecha Muestreo: 04-12-16
Tipo de Muestra: Agua de río	Fecha Recepción: 05-12-16
Solicitado por: Macario Pino	Fecha Inicio de Análisis: 07-12-16
Dirección: Provincia: Limón, Cantón: Talamanca, Distrito: Telire.	Fecha Reporte: 19-12-16
Descripción de la Muestra: Consecutivo 01: Captación	Código Muestra: 091216
Muestreado por: El cliente. Hora de toma: 2:10 p.m	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Análisis	Valor Máximo Admisible (1)	Resultados	Procedimiento
Nivel 1			
Temperatura (°C)	30	20,5	NA
pH (unidades de pH)	6,0 - 8,0	6,60	NA
Nivel 2			
Aluminio (mg/L) (**)	0,2	< 0,2	3111 - D
Calcio (mg/L) (*)	100	(8,2 ± 0,6)	3111 - B
Cloruros (mg/L) (*)	250	< 4	4500 Cl ⁻ - B
Cobre (mg/L) (*)	2,0	< 0,02	3111 - B
Dureza total (mg/L) (**)	400	(33 ± 3)	2340 - B
Fluoruros (mg/L) (*)	0,7 - 1,5	< 0,2	4500 F - D
Hierro (mg/L) (*)	0,3	< 0,01	3111 - B
Magnesio (mg/L) (*)	50	(3,1 ± 0,2)	3111 - B
Manganeso (mg/L) (*)	0,5	< 0,09	3111 - B
Nitrato (mg/L) (*)	50	(1,5 ± 0,2)	4500 NO ₃ - B
Plomo (mg/L) (**)	0,01	< 0,01	3113 - B
Potasio (mg/L) (*)	10	(1,0 ± 0,2)	3500 K - B
Sodio (mg/L) (*)	200	(7,1 ± 0,7)	3500 Na - B
Sulfato (mg/L) (**)	250	< 7	4110 - C
Zinc (mg/L) (*)	3,0	< 0,09	3111 - B

Observaciones

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

() Ensayos no acreditados.**

ND: No detectable

NA: No aplica

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

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

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

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Informe de Resultados de Análisis
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Actividad: El recurso hídrico fuente para abasto humano y para actividades productivas en comunidades indígenas de Amubri, Shuabb Bambú, Cantón de Talamanca y comunidades de la Cureña, Cantón de Puerto Viejo de Sarapiquí.	Fecha Muestreo: 04-12-16
Tipo de Muestra: Agua de río	Fecha Recepción: 05-12-16
Solicitado por: Macario Pino	Fecha Inicio de Análisis: 07-12-16
Dirección: Provincia: Limón. Cantón: Talamanca. Distrito: Telire.	Fecha Reporte: 19-12-16
Muestreado por: El cliente. Hora de toma: 3:20 p.m	Código Muestra: 091216
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Número de Muestra	Descripción	Análisis								
		Cloro residual libre (**) mg/L	Cloro residual combinado (**) mg/L	Color Aparente (mg/L (Pt-Co) (**))	Turbiedad UNT (**)	Temperatura (°C)	pH (unidades de pH)	Conductividad (µS/cm) (*)	Olor (**)	Sabor (**)
2	Bambú	ND	NA	(15 ± 2)	(3,02 ± 0,01)	23,1	5,08	(39 ± 1)	Aceptable	Aceptable

Valores Recomendados de Acuerdo al Reglamento de Agua Potable							
ANALISIS	Valor Máximo Admisible (1)	Valor Alerta(1)	Procedimiento	ANALISIS	Valor Máximo Admisible (1)	Valor Alerta (1)	Procedimiento
Cloro residual combinado mg/L (**)	1,8	1	4500-G	Turbiedad UNT (**)	5	1	2130-B
Cloro residual libre (**) mg/L	0,6	0,3	4500-G	Temperatura (°C) (*)	30	18	2550-B
Color Aparente (mg/L (Pt-Co) (**))	15	< 5	2120-C	pH (unidades de pH) (*)	8,0	6,0	4500-H*-B
Olor (**)	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable	2150	Conductividad (µS/cm) (*)	NA	400	2510-B
Sabor (**)	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable	2160				

Observaciones

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

(**) **Ensayos no acreditados.**

ND: No detectable

NA: No aplica

(1) Los valores máximos admisibles se tomaron del Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S. Para los parámetros de pH, temperatura, cloro residual libre y cloro residual combinado, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA. La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%. Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior. Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio. Los datos de pH y temperatura fueron suministrados por el cliente. El contenido de cloro residual combinado no aplica, debido a que no se adiciona amoníaco en el proceso de desinfección. La presente muestra posee un contenido de cloro residual libre inferior a la establecida en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto # 38924-S

Metodología

Los análisis químicos fueron realizados de acuerdo basados en la 22^{da} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2012

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

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: Recurso hídrico fuente para abasto humano y actividades productivas en comunidades indígenas de Amubri, Shuabb y Bambú, cantón de Talamanca y comunidades de la Cureña, cantón de Puerto Viejo de Sarapiquí	Fecha muestreo: 04-12-16
Tipo de muestra: Agua	Fecha Recepción: 05-12-16
Descripción de la muestra: Agua de río	Fecha Reporte: 23-05-17 ‡
Solicitado por: Macario Pino	Código muestra: 091216
Dirección: provincia: Limón, cantón: Talamanca, distrito: Telire	Muestreado por: El cliente
Tipo de muestreo: puntual, hora: 3:00 p.m.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Número de muestra	Descripción	Coliformes totales NMP/mL (*)	Coliformes fecales NMP/mL (*)	<i>E. coli</i> NMP/ mL (*)
1	Captación	240	ND	ND
2	Colegio de Amubri	No aplica	43	3,6

Observaciones

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

(**) Ensayos no acreditados

ND: no detectable

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recibida el día indicado en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

‡ Este informe sustituye el entregado el 15-12-16.

Metodología:

La técnica usada para la detección de bacterias coliformes fue de N.M.P. (Número más Probable). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 4th Ed, American Public Health Association and BAM (Bacteriological Analytical Manual FDA) (Límite de detección: < 3,0 NMP/mL).
Para los análisis de *Escherichia coli* se utilizó la Técnica de NMP por LXM®. (Límite de detección: < 3,0 NMP/mL).

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 5 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.



Dra. Andrea Quesada González
Regente Microbiología

Observaciones

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

(**) **Ensayos no acreditados.**

ND: No detectable

NA: No aplica

(1) Los valores máximos admisibles se tomaron del Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S. La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%. Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recibida el día indicado en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

La medición de temperatura fue suministrada por el cliente.

El contenido de cloro residual combinado no aplica, debido a que no se adiciona amoníaco en el proceso de desinfección

Ambas muestras presentan un contenido de cloro residual libre inferior al establecido en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto # 38924-S.

El Reglamento para la Calidad de Agua Potable Decreto #38924-S del Ministerio de Salud recomienda que el agua debe tener un valor recomendado de "no detectable" para coliformes fecales y *E.coli* por lo que las muestras analizadas sí cumplen con este requerimiento.

Metodología

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 22nd ed. 2012 APHA-AWWA-WEF. (Límite de detección <1,8 NMP/100mL)
Para los análisis de *E.coli* se utilizó la Técnica de NMP por LXMfb. (Límite de detección <1,8 NMP/100 mL)

Los análisis químicos fueron realizados de acuerdo basados en la 22^{da} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2012

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

Dra. Andrea Quesada González
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

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

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

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: Proyecto "Mejora de las condiciones de los sistemas de abasto de agua, para consumo humano y para atender actividades productivas en las comunidades indígenas del distrito Telire y Bratsi, cantón de Talamanca y comunidad del distrito La Cureña, cantón Sarapiquí"	Fecha muestreo: 29-09-17
Tipo de muestra: agua potable	Fecha recepción: 30-09-17
Solicitado por: Macario Pino	Fecha análisis: 30-09-17
Descripción de la muestra: agua potable	Fecha reporte: 09-10-17
Dirección: provincia: Limón, cantón: Talamanca, distrito: Bratsi, otras señas: Telire	Código muestra: 2350917
Tipo de muestreo: puntual	Muestreado por: cliente
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Número de muestra	Descripción	Coliformes fecales NMP/100 mL (*)	<i>Escherichia coli</i> NMP/100 mL (*)
13	Escuela Amubri	7,8	7,8
	Procedimiento	9221 E	9221 F

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

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

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: Proyecto "Mejora de las condiciones de los sistemas de abasto de agua, para consumo humano y para atender actividades productivas en las comunidades indígenas del distrito Telire y Bratsi, cantón de Talamanca y comunidad del distrito La Cureña, cantón Sarapiquí"	Fecha muestreo: 29-09-17
Tipo de muestra: agua potable	Fecha recepción: 30-09-17
Solicitado por: Macario Pino	Fecha análisis: 30-09-17
Descripción de la muestra: agua potable	Fecha reporte: 09-10-17
Dirección: provincia: Limón, cantón: Talamanca, distrito: Bratsi, otras señas: Telire	Código muestra: 2350917
Tipo de muestreo: puntual	Muestreado por: cliente
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Número de muestra	Descripción	Coliformes fecales NMP/100 mL (*)	<i>Escherichia coli</i> NMP/100 mL (*)
14	Ebais Amubri	13	13
	Procedimiento	9221 E	9221 F

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

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

Informe de Resultados de Análisis

Cliente: Proyecto "Mejora de las condiciones de los sistemas de abasto de agua, para consumo humano y para atender actividades productivas en las comunidades indígenas del distrito Telire y Bratsi, cantón de Talamanca y comunidad del distrito La Cureña, cantón Sarapiquí"	Fecha muestreo: 29-09-17
Tipo de muestra: agua potable	Fecha recepción: 30-09-17
Solicitado por: Macario Pino	Fecha análisis: 30-09-17
Descripción de la muestra: agua potable	Fecha reporte: 09-10-17
Dirección: provincia: Limón, cantón: Talamanca, distrito: Bratsi, otras señas: Telire	Código muestra: 2350917
Tipo de muestreo: puntual	Muestreado por: cliente
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Número de muestra	Descripción	Coliformes fecales NMP/100 mL (*)	<i>Escherichia coli</i> NMP/100 mL (*)
15	Colegio Amubri	7,8	7,8
	Procedimiento	9221 E	9221 F

ANEXO 2. FORMULAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO DEL DESARENADOR

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

1. Es necesario conocer la siguiente información inicial:
 - ✓ Caudal de diseño (QD)
 - ✓ Densidad de las partículas (ρ_s)
 - ✓ Densidad del agua (ρ_w)
 - ✓ Diámetro de las partículas (d)
 - ✓ Temperatura del agua (T)
2. Cálculo de la velocidad de sedimentación para el régimen de transición ($1 < Re < 50$):

$$V_s = \frac{g^{0,8} x \left[\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right]^{0,8} x d^{1,4}}{10 x \nu^{0,6}} \quad (22)$$

Viscosidad cinemática se tiene:

$$\nu = \frac{497 x 10^{-6}}{[T + 42,5]^{1,5}} \quad (23)$$

donde:

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

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

ρ_s = Densidad de partículas en kg/m^3

ρ_w = Densidad del agua en kg/m^3

d = Tamaño o diámetro de partícula en m

ν = Viscosidad cinemática en m^2/s

T = Temperatura en $^{\circ}C$

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

$$Re = \frac{V_s x d}{\nu} \quad (24)$$

donde:

Re: número de Reynolds

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

d = Tamaño o diámetro de partícula en m

v = Viscosidad cinemática en m²/s

4. Velocidad de sedimentación crítica (Vsc):

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

$$s_c = \frac{s}{f} \quad (25)$$

donde:

Vs: velocidad de sedimentación de partícula en m/s

F: Factor minorante

5. Área superficial

$$A_s = \frac{Q}{v_{sc}} \quad (26)$$

donde

Q: Caudal en m³/s

Vsc: Velocidad de sedimentación crítica de las partículas en m/s

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

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

$$h = \frac{Q}{BXH} \quad (27)$$

donde

Q: Caudal en m³/s

B: ancho en m

H: altura en m

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

$$V_a = \sqrt{40x(p_s - p_w)gx \frac{d}{(3xp_w)}} \quad (28)$$

donde

V_a : velocidad de arrastre de la partícula en m/s

g : constante de gravedad m/s^2

ρ_s : densidad de las partículas kg/m^3

ρ_w : densidad del agua kg/m^3

d : diámetro de partículas (m)

ANEXO 3. FORMULAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO DEL TANQUE DE ALAMACENAMIENTO

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

$$V_r = C \times QDM \times t_r \quad (29)$$

Donde:

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

QMD: caudal máximo diario en m³/d

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

2. Volumen contra incendios (V_i)

Según las normas para el Diseño de Proyectos de abastecimiento de Agua Potable en Costa Rica N 2001-248, elaborado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, establece el caudal de incendio desacuado a la cantidad de población. Para el caso de Amubri la población actual no supera los 5000 habitantes, ni durante el periodo de diseño proyectado a 15 años, para esto la norma recomienda que poblaciones rurales dispersas (caso actual) no se considerará la demanda por incendio.

$$V_{re} = 3,6 \times Q_i \times t_i \quad (30)$$

donde:

Q_i: caudal máximo diario en L/s

t_i: tiempo de reserva en horas (2-4 horas)

3. Volumen de reserva (V_{re})

Utilizado para proveer al sistema por reparaciones, mantenimiento o fallas en el sistema, y es calculada basado en la siguiente formula:

$$V_{re} = 3,6 \times QMD \times t_{re} \quad (31)$$

donde:

QMD: caudal máximo diario en m³/d

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

ANEXO 4. FORMULAS UTILIZADA PARA EL DISEÑO DE LA REJILLA

1. Sección de la Bocatoma

$$A_T = A_S + A_f$$

Donde:

A_T = Sección de la bocatoma en m^2

A_S = Sección total de las barras en m^2

A_f = Sección de flujo en m^2

2. Sección total de las barras

$$A_S = n * s * l$$

Donde:

n = Número de barras

s = espesores de las barras (m)

l = longitud de la barra en metros

3. Sección del flujo

$$A_f = \frac{c * Q}{\xi * V_a}$$

Donde:

c = Coeficiente de mayoración por efectos de colmatación entre 1,5 – 2,0

Q = Caudal de diseño en m^3/s

ξ = Pérdida de carga y/o sección de Kirshner

V_a = velocidad de aproximación en m/s entre 0,60 m/s a 1,00 m/s

4. Pérdida de carga y/o sección de Kirshner

$$\xi = \varphi * \left[\frac{s}{a} \right]^{\frac{4}{3}} * \sin \alpha$$

Donde:

φ = depende de la sección transversal deseado (rectangular: 2,42) (circular: 1,79) (parabólico: 1,67)

s= espesor de la barra en (m)

a= espacio entre barra y barra en (m)

α = Ángulo de inclinación de la rejilla en grados