

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA Y MEJORA DEL
ACUEDUCTO DE SAN ISIDRO DE EL GUARCO, CARTAGO**

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

Realizado por:

Marilyn Pamela Cordero Retana

Director de tesis:

Jorge Calvo Gutiérrez

Cartago, febrero 2014

**EVALUACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA Y MEJORA DEL
ACUEDUCTO DE SAN ISIDRO DE EL GUARCO, CARTAGO**

INFORME PRESENTADO A LA ESCUELA DE QUÍMICA
DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL CON EL GRADO EN
LICENCIATURA

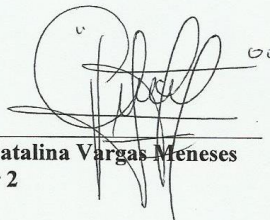
Miembros del Tribunal



MSc. Jorge Calvo Gutiérrez
Director de Tesis



Ing. Mary Luz Barrios Hernández
Lector 1



Ing. Catalina Vargas Meneses
Lector 2

DEDICATORIA

*“A todas las personas que escogemos ser parte de la
solución y no del problema.”*

María Mercè Conangla y Jaume Soler

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza de ponerme en pie todas las veces. Un sincero agradecimiento a mi madre y padre, por ofrecerme su confianza y apoyo durante todo este tiempo. A mi hermano, que me dio las fuerzas para alcanzar mis objetivos, a mi familia por la ayuda recibida. Mil gracias a Stiven, por su incondicional apoyo y consejos durante esta trayectoria.

Se les agradece a los miembros de COMCURE, en especial al Ing. Guillermo Flores y al Sociólogo Adrián Zeledón por la ayuda brindada. Además, a la Ing. Paola Vidal, por guiarme al objetivo. También a los funcionarios de la ASADA de San Isidro de El Guarco, por su colaboración para que el proyecto se llevara a cabo.

A mi tutor Ing. Jorge Calvo, que sin su ayuda y confianza no se hubiera hecho esto posible. A la profesora Ing. Ana Lorena Arias por su colaboración para el desarrollo de este documento. A los miembros lectores, por sus recomendaciones durante el proceso.

Agradecida con mis compañeros, por compartir sus experiencias y conocimientos. En especial a Lorena G, Daylin y Vladimir, por los momentos vividos para llegar a obtener el título.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE ACRÓNIMOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II - MARCO DE REFERENCIA.....	4
2.1 Agua de consumo humano.	4
2.2 Fuentes de abastecimiento.....	6
2.3 Problemas que afectan al agua potable en Costa Rica.....	8
2.4 Instituciones públicas que velan por el recurso hídrico en Costa Rica.	10
2.5 Sistemas de tratamiento para agua potable.....	12
2.5.1 Sedimentación	13
2.5.2 Coagulación y Floculación	14
2.5.3 Filtración lenta y filtración rápida	15
2.5.4 Desinfección	16
2.6 Sistemas de distribución para agua potable y método Hazen-Williams.....	17
CAPÍTULO III- DESCRIPCIÓN DEL SITIO.....	20
3.1. Historia.	20
3.2 Geografía.	20

3.2.1 Ubicación Geográfica.....	20
3.2.2 Uso del suelo	21
3.3 Clima.	23
3.3.1 Precipitación y temperatura.....	23
3.4 Calidad y Cantidad del Agua en San Isidro, El Guarco.	24
3.5 Balance Hídrico.....	25
3.6 Análisis de Población.	26
CAPÍTULO IV- METODOLOGÍA	30
4.1 Análisis de información básica.....	31
4.2 Recepción de datos.	31
4.3 Investigación en campo.	31
4.4 Análisis de resultados.	32
CAPÍTULO V-RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5.1 Variación de la precipitación en la zona de San Isidro de El Guarco.	33
5.2 Evaluación de las condiciones actuales del acueducto.....	34
5.2.1 Captaciones.....	35
5.2.2 Tubería de conducción.	39
5.2.3 Sistema de tratamiento de agua potable.	39
5.2.4 Remoción de la turbiedad en la planta de tratamiento de agua para el cumplimiento de la legislación nacional.	44
5.3 Alternativas para el diseño de la tubería de conducción desde las posibles fuentes de abastecimiento seleccionadas hasta el taque quiebra gradiente de la ASADA.	46
5.4 Diseño para el tanque de almacenamiento.	53
5.4.1 Diseño teórico del volumen del tanque de almacenamiento	53
5.4.2 Diseño experimental del volumen del tanque de almacenamiento.....	55
5.5 Soluciones al déficit de agua.	57

5.5.1 Toma desde un río caudaloso.	57
5.5.2 Embalse o laguna de retención.	58
CAPITULO VI- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
6.1 Conclusiones.....	59
6.2 Recomendaciones	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	67
ANEXO 1 - Parámetros de calidad de agua en Costa Rica según el Reglamento de Calidad de Agua Potable.....	67
ANEXO 2 – Nacientes cercanas al distrito de San Isidro, El Guarco.	76
ANEXO 3 – Análisis de agua de la ASADA San Isidro.	77
ANEXO 4 – Fotografías del acueducto San Isidro, El Guarco, Cartago.	81
ANEXO 5- Datos del Instituto Meteorológico Nacional	84
ANEXO 6. Perfil 2 de la tubería de conducción de la naciente 2 hasta el tanque quiebra gradiente.	87
ANEXO 7. Cálculos de diseño del tanque de almacenamiento.	88
ANEXO 8. Declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público y reforma de leyes conexas.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de uso de las aguas superficiales.....	5
Figura 2. (a) planta de coagulación y filtración convencional. (b) filtración directa.....	13
Figura 3. Ubicación de la ASADA en Territorio Nacional.....	21
Figura 4. Precipitación y temperatura máxima y mínima mensual para la región de San Isidro, El Guarco.....	24
Figura 5. Gráfico de curvas de variación estacional para las precipitaciones.....	33
Figura 6. Tubo ubicado en la captación El Cubano, 2013.....	36
Figura 8. Tapa de vidrio de la captación de la naciente Casa Blanca, 2013.....	37
Figura 7. Mapa 1. Ubicación de las captaciones de la asada y su zona de acceso, 2013	38
Figura 9. Tubería de conducción desde las captaciones al tanque de reunión El Cubano, 2013	39
Figura 10. Planta de Tratamiento de Agua Potable, ASADA San Isidro, 2013.....	40
Figura 11. Dimensiones internas del desarenador, filtro y tanque almacenamiento de la PTAP, 2013.	41
Figura 12. Limpieza de la cámara del desarenador.	41
Figura 13. Pastillas de cloro al 90% de concentración y tubería de entrada de agua para diluir las pastillas.....	43
Figura 14. (a) agua del filtro mes de noviembre 2013. (b) agua del filtro mes de febrero 2014.....	45
Figura 15. Ubicación de las nacientes 1 y 2 seleccionadas (nac-2257 con un aforo de 38,5 l/s nac-2228 con un aforo de 5,13 l/s, respectivamente), el tanque quiebra gradiente donde se transportó el agua, toma El Cubano y la PTAP de la ASADA.	47
Figura 16. Planta del perfil 1 de la tubería de conducción, 2013.	48
Figura 17. Planta del perfil 2 de la tubería de conducción, 2013.	49
Figura 18. Tubería de conducción del perfil 1.....	49
Figura 19. Imagen área de la tubería de conducción 1 y el perfil del terreno en google earth.....	50
Figura 20. Ecuación de la recta para determinar el volumen del tanque de almacenamiento.	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.	7
Cuadro II. Evolución de cobertura de agua de consumo humano en América Latina, el Caribe y Costa Rica 1960- 2010.....	9
Cuadro III. Balance hídrico por el método Thornthwaite.	25
Cuadro IV. Resultados de los análisis de turbiedad de las muestras provenientes del filtro y tanque de almacenamiento y resultados de los análisis realizados por el laboratorio lambda. Cartago, 2013-2014.	44
Cuadro V. Resultado de la aplicación de H-Williams al perfil de las tuberías de conducción propuestas.....	52
Cuadro VI. Censos realizados por el INEC en el distrito de San Isidro, de El Guarco en Cartago. Años 2000 y 2011	54

LISTA DE ACRÓNIMOS

ASADA: Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados.

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

COMCURE: Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón.

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

IMN: Instituto Meteorológico Nacional.

ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.

PTAP: Planta de tratamiento de aguas potables.

PVC: Cloruro de polivinilo

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

RESUMEN

El acueducto de San Isidro de El Guarco requiere de una pronta intervención, debido al déficit de agua en temporada seca que se presentó en las captaciones El Cubano, Casa Blanca #1 y Casa Blanca #2, lo que dificultó el suministro a la comunidad en el verano. Se propuso nuevas fuentes de agua cercanas a la población para alcanzar el caudal máximo diario de 13 L/s que se requiere en un periodo de 20 años.

Durante época lluviosa se dio el incremento de sólidos y de color en el agua del tanque de almacenamiento, por lo que se evaluó las causas que generaban la presencia de alta turbiedad en el agua y el estado del filtro lento de flujo ascendente.

La metodología que se utilizó para obtener los datos del análisis fue con visitas al campo y entrevistas con el fontanero y la administradora para evaluar la situación actual del acueducto; se consultó la base de datos del SENARA, de la cual se eligió dos nacientes con mayor caudal para asegurar la demanda de la población actual y futura que necesita la ASADA. Se midió cada una de las estructuras internamente, ya que no existían planos; se evaluó el funcionamiento de la desinfección y durante 12 horas se midió la variación del volumen en el tanque de almacenamiento para conocer el consumo de los usuarios de San Isidro.

Los principales resultados obtenidos en este proyecto fueron: el perfil topográfico de la tubería de conducción desde las nacientes hasta el tanque de quiebra gradiente para facilitar la instalación y la reducción de costos. El alto valor de 12,95 UNT de turbiedad en el agua del filtro, en el mes de noviembre indica que el estado del filtro se debe revisar y además la construcción de dos filtros para tratar el caudal que ingresa a la planta de tratamiento. Se requiere la ampliación de 197 m³ de volumen en el tanque de almacenamiento.

Se concluyó que en los meses de diciembre a abril se presenta una disminución en la precipitación, como se muestra en el balance hídrico, lo cual indica un déficit de agua en verano. Se recomienda realizar la factibilidad técnica, que determinen si la construcción de un embalse es la única solución técnicamente viable.

Palabras claves: Sistema de potabilización, ASADA San Isidro, tubería de conducción, tanque de almacenamiento, nacientes, cloración, turbiedad.

ABSTRACT

The Aqueduct of San Isidro de El Guarco is in need of a immediate intervention due to water shortages during the dry season was presented in the catchments El Cubano, Casa Blanca #1 and Casa Blanca #2, the flow is insufficient to meet the demand during summer. New water sources near the population was proposed to achieve the maximum daily flow of 13 L / s is required over a period of 20 years.

During rainy season, the increase of solid color and was in the water storage tank. The causes of the presence of high water turbidity and condition of slow upward flow filter were evaluated.

The methodology used to afford data análisis was visits and interviews with the plumber and the manager of the ASADA were scheduled, in order to assess the current situation of the aqueduct; through the database SENARA, which two streams flow more was chosen to ensure the demand for current and future population needs. Each of the structures were measured internally, because there were no plans or the functioning of the chlorination was known and for 12 hours the volume change was measured in the storage tank for the use by users of San Isidro.

The main results are that using the headwaters, the topographic profile of the pipe driving was obtained, this to ensure easy installation and lower costs. Also, with the high value of 12.95 NTU turbidity in the water filter in November indicates the status of the filter should be checked and constructing two filters to treat the flow entering the treatment plant. Expanding volume of 197 m³ is required in the storage tank.

As finding in the months of December to April a decrease in precipitation is presented, as illustrated in the water balance, indicating a deficit of water in summer. Is recommended that the technical study, to determine whether the construction of a dam is the only technically feasible solution.

Keywords: Water treatment system, ASADA San Isidro, line pipe, storage tank, springs, chlorination, turbidity.

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

Durante 1991 al 2011, las coberturas con agua de calidad potable en Costa Rica pasaron de un 50% a un 90,1%. Además, un porcentaje de población abastecida con agua sometida a tratamiento y/o desinfección aumentó en 2,7%, pasando de 81,8% (3.683.526 hab) en el 2010 a 84,5% (3.884.614 hab) en el 2011, lo que nos indica que el programa de cloración se fortalece, aunque de manera lenta (Mora, Mata y Portuguez, 2012).

No obstante, las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) son en número las que administran la mayor cantidad de acueductos, pero son pequeños y para poblaciones también pequeñas. Una muestra tomada el año pasado indicó que de 1067 ASADAS, un 44% no reciben agua potable (Jiménez, 2012).

Según ALIARSE (2009) con las ASADAS es necesario reformular su papel en la provisión y abastecimiento del recurso hídrico, que significa modernizar su estructura y desempeño de funciones, proveyendo a estas asociaciones de una visión más empresarial que comunal (ALIARSE, 2009)

En el siguiente trabajo se evaluó las condiciones actuales del acueducto de San Isidro, del cantón El Guarco. Una ASADA que abastece a 3 300 personas y poseen 590 pajas conectadas según los registros que posee la administración del acueducto (2013). Actualmente, existen cuatro captaciones (dos en la quebrada El Cubano y una en la quebrada Casa Blanca # 1) y una naciente llamada Casa Blanca # 2.

Durante los meses de enero a agosto del año 2013, el caudal del tanque de almacenamiento se mantuvo alrededor de 7 L/s, provocando que el servicio de agua se suspendiera por la mañana durante 3 horas mientras se volvía a llenar el tanque. En los meses de setiembre a noviembre, el caudal del tanque de almacenamiento estuvo rondando los 15,9 L/s, y no hubo necesidad de suspender el servicio.

Por lo que se decide localizar nacientes cercanas a San Isidro, para poder suministrar sobretodo en época seca a los usuarios de la ASAD, para esto se solicita en el mes de octubre del 2013 al SENARA la base de datos de nacientes que ellos poseen registradas. Se obtiene que dos nacientes ubicadas en el sector de San Isidro poseen suficiente caudal para

abastecer a la comunidad, así que se decide emplearlas para posible suministro a la población, realizando a cada una un perfil topográfico que muestra la ubicación de la tubería de conducción desde las nacientes seleccionadas hasta el tanque quiebra gradiente; por otra parte se muestra otro escenario en el mes de febrero del 2014, donde se decide visitar las nacientes, se observó que los aforos registrados por el SENARA convergían de la realidad en que se encuentran esas dos nacientes. En el apartado 5.3 se detalla los dos escenarios encontrados.

La estructura de la planta potabilizadora tiene más de diecisiete años de construida, no ha tenido el mantenimiento adecuado; especialmente el filtro, puesto que la arena no se ha cambiado desde su construcción, por lo que se encuentra colmatado, llenándose de lodo en la parte superior, esto provoca que en temporada de lluvia la turbiedad no se logre remover correctamente. Señal evidente de que la operación y el mantenimiento no han sido prioridad en esta ASADA.

Según comentan los vecinos de San Isidro, algunos días el agua presenta color café y con olor desagradable, lo cual es inaceptable para consumo. Ante esta inquietud, se decidió analizar la turbiedad en la cámara de filtros y en el tanque de almacenamiento para analizar su estado. Se detalla este aspecto en el apartado V.

Además, ante el crecimiento poblacional, como se muestra en el Cuadro VI, se requiere un rediseño de la planta de tratamiento actual; aumentando sobretodo el volumen del tanque de almacenamiento para asegurar la cantidad del suministro de agua a los usuarios y así poder sobrellevar la demanda actual y entre los próximos 20 años. En el apartado 6.2 se aportan medidas de mejora para el acueducto actual, desde las captaciones hasta el tanque de almacenamiento.

Con este trabajo se aborda dos soluciones a la escasez del agua, buscando nuevas fuentes de agua cercanas a la ASADA para reducir costos de construcción de tubería de conducción y también la posibilidad de considerar si la construcción de una laguna de retención es la única solución técnica viable para garantizar la permanencia del suministro del líquido en el acueducto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Proponer nuevas fuentes de agua, así como evaluar y plantear un mejoramiento en la captación, conducción y tratamiento del acueducto San Isidro de El Guarco.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar las condiciones actuales del acueducto y la variación de la precipitación en la zona cercana a San Isidro.
2. Proponer diferentes alternativas para el diseño de la tubería de conducción, desde las posibles fuentes de abastecimiento seleccionadas hasta el tanque quiebra gradiente de la ASADA.
3. Proporcionar medidas correctivas y mejoras a las condiciones actuales del acueducto de San Isidro de El Guarco.

CAPÍTULO II - MARCO DE REFERENCIA

2.1 Agua de consumo humano.

El ser humano al igual que todos los seres vivos que forman parte del ecosistema, requerimos del agua para realizar nuestras necesidades básicas y para el desarrollo de multitud de actividades cotidianas (Varó y Segura, 2009).

Los registros de la Dirección de Aguas del Minaet indican un volumen total concesionado de 14.901 millones de metros cúbicos: 93,4% para uso hidráulico, 5,9% para uso superficial y 0,7% para aprovechamiento de aguas subterráneas. Seis cuencas en conjunto representan el 71% del total del agua concesionada: Reventazón-Parismina (29%), Bebedero (26%), San Carlos (22%), Grande de Tárcoles (14%), Sarapiquí (4%) y Tempisque (2%). Los usos varían según las diversas actividades productivas presentes en cada cuenca (Programa: Estado de la Nación, 2011).

El agua para consumo humano, desde el punto de vista sanitario, hay que tener en cuenta tres aspectos, según los autores Varó y Segura (2009):

1. La calidad del agua para consumo debe ser apropiada y no entrañar ningún riesgo para la salud.
2. La cantidad de agua para las necesidades higiénicas y para consumo debe ser suficiente.
3. La accesibilidad del agua de consumo a la población debe ser fácil.

Se entiende que el agua es potable cuando, reuniendo unas características organolépticas (incolora, transparente, inodora, relativamente insípida), contiene una adecuada proporción de elementos y sales minerales y no contiene sustancias que puedan causar perjuicio a la fisiología normal del organismo (Varó y Segura, 2009).

En Costa Rica, existe el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, publicado en La Gaceta N° 84 del martes 03 de mayo del 2005, para el cumplimiento de parámetros referente a la calidad de agua para consumo humano (Poder Ejecutivo, 2005), presentes en el Anexo 1. La importancia de cumplir con este reglamento es brindar a las personas agua óptima para prevenir enfermedades de origen hídrico, principalmente las que están

involucradas con el consumo del agua (cólera, fiebre tifoidea, meningitis, hepatitis, diarrea entre otras).

Por lo que se han diseñado una serie de procesos para potabilizar el agua de consumo humano, que posea las condiciones óptimas para evitar la contaminación del líquido y asegurar la calidad de la misma a los usuarios. Se puede observar un ejemplo en la Figura 1, del ciclo del agua en una captación superficial para obtener un líquido con características adecuadas y que cumpla con lo que solicita el Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica.

El ciclo inicia en la captación de un río o un lago, luego el agua es transportada por tuberías de conducción hasta el sistema de tratamiento para remover algunos sólidos, químicos o microorganismo, finalmente se desinfecta y se almacena; algunas veces, la calidad de la fuente de captación es muy buena, entonces recurren solamente a la desinfección. Una vez almacenada es dirigida por redes de distribución hasta los consumidores como se puede ver en la Figura 1 (Brière, 2005).

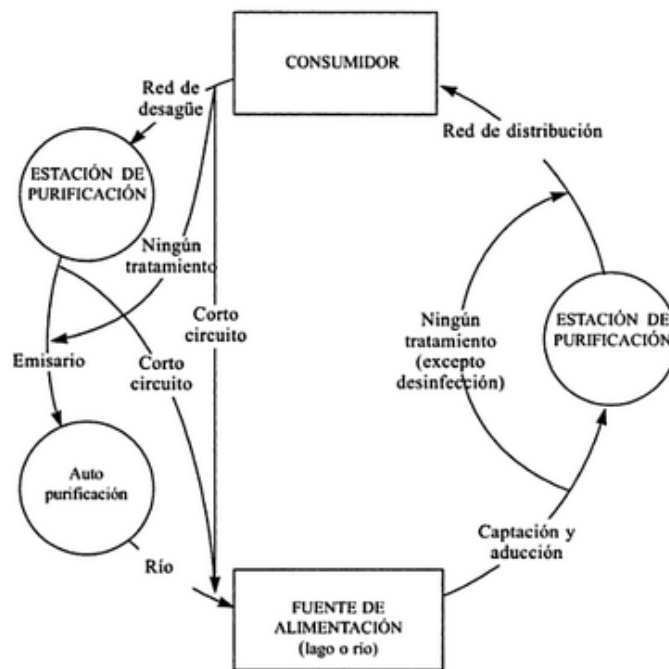


Figura 1. Ciclo de uso de las aguas superficiales.

Fuente: (Brière, 2005).

2.2 Fuentes de abastecimiento.

Para transportar un caudal de un río o naciente hacia al acueducto, se tiene que construir captaciones. Se conoce con el nombre de obras de captación a las estructuras que se colocan directamente sobre las fuentes superficiales o subterráneas que se han seleccionado como económicamente utilizables para surtir una red de acueducto (Corcho y Duque, 2005).

Los tipos de captación son esencialmente diferentes dependiendo del recurso que se desea captar ya sean las aguas de ríos, manantiales, lagos, embalses, pozos profundos o someros. Según Corcho y Duque (2005), se debe tener criterios de localización para captaciones en ríos y manantiales. A continuación se describen algunos ejemplos:

- El caudal del río o manantial debe ser bastante mayor que el caudal de diseño, y la profundidad del río no debe ser menor de un cierto valor mínimo.
- Debe presentar un cauce estable y tener firmeza en sus orillas, con el fin de que no existan derrumbes, sedimentos o erosiones que puedan inferir en el comportamiento óptimo de la estructura de captación.
- Se debe prever una carga suficiente para mover el agua hasta el sitio de las bombas; o bien, que se produzca el flujo por gravedad y el gasto estimado en el diseño.
- Cuando se trata de manantiales y quebradas en general es suficiente interponer una pequeña presa denominada tomadique, provista de drenaje, rebose y bocatoma. La bocatoma correspondiente debe estar a una cierta altura sobre el donde del dique para evitar la entrada de arenas y debe estar cubierta por una rejilla protectora.
- Cuando se trata de una captación mediante una estación de bombeo, ésta se debe localizar en lo posible en un tramo recto del cauce del río o la quebrada, y sobre suelo estable con muy pocos riesgos de inundación.

Se conoce como fuentes de abastecimiento de agua: a las aguas superficiales, aguas subterráneas, agua de lluvia y aguas de mar o aguas salobres. Generalmente se utilizan las aguas superficiales y las aguas subterráneas, pero en ausencia de estas se recurre al empleo de agua de lluvia o la explotación del agua de mar (Brière, 2005).

En el Cuadro I, se presentan las principales diferencias existentes entre las aguas superficiales y las subterráneas. Se puede observar que en las aguas superficiales hay una mayor variabilidad, tanto de las sustancias y parámetros presentes, como de sus concentraciones, debido principalmente a la exposición del agua, lo que provoca que cambie sus características del ambiente. En general, se considera que es más económico potabilizar agua subterránea que agua superficial debido a su bajo costo de tratamiento (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Cuadro I. Principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Características examinadas	Aguas superficiales	Aguas subterráneas.
Temperatura	Variable según la época del año	Relativamente constantes
Turbiedad	Variable, a veces elevada	Baja o nula
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitación, vertidos, etc	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en la superficie de la misma región
Hierro y manganeso divalentes en estado disuelto	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cuerpos de agua en estado de eutrofización	Generalmente presentes
Dióxido de carbono	Generalmente ausente	Normalmente presente en gran cantidad
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a saturación.	Ausencia total en la mayoría de los casos
Amonio	Presente sólo en aguas contaminadas	Presencia frecuente, sin ser una índice sistemático de contaminación
Ácido sulfhídrico	Ausente	Normalmente presente
Sílice	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Poco abundante en general	Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia
Microorganismos	Bacterias	Frecuentes ferrobacterias

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2007.

Se pueden utilizar y consumir las aguas superficiales y las aguas subterráneas, después de captarlas, tratarlas en una estación de purificación y distribuirlas mediante una red de distribución.

2.3 Problemas que afectan al agua potable en Costa Rica.

Según el Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales (2012), en Costa Rica se ha notado un acelerado deterioro de las fuentes superficiales y subterráneas de agua. Este deterioro amenaza seriamente la disponibilidad del recurso hídrico a futuro y se ha manifestado en problemas de disponibilidad y calidad del agua así como en el deterioro de los ecosistemas asociados.

Algunos de los problemas que se mencionan en su página web (CEDARENA, 2012) son:

- Ausencia total de políticas, un ente rector totalmente ausente, una institucionalidad dispersa que presenta nichos de poder por sectores (riego, hidroelectricidad, suministro de agua potable, contaminación, etc)
- Un marco legal inapropiado con una ley marco de hace 60 años y una dispersión de normas generadas de acuerdo a los problemas específicos y sectoriales que se fueron presentando a lo largo de las últimas décadas.
- Se calcula que dentro de 20 años todas las fuentes de agua subterráneas del área metropolitana sobrepasarán los niveles de contaminación recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- La impunidad en el incumplimiento de las normas de contaminación y de las limitaciones establecidas para las zonas de protección de los mantos acuíferos y las cuencas hidrográficas.

A pesar que la evolución de la cobertura de agua para consumo humano ha ido incrementando del año 1960 al 2010 (Mora et al., 2012) en comparación con América Latina, como se muestra en Cuadro II. Parte de esto, causa en algunos pueblos enfermedades por contaminación hídrica, sin un debido control de calidad.

El 84,5% de la población recibe agua desinfectada mediante cloración (Mora et al., 2012). Este tratamiento requiere especial cuidado en el caso del agua superficial; al aplicarlo se debe asegurar que de previo se ha dado un proceso de sedimentación, pues el cloro, en presencia de materia orgánica, forma trihalometanos (THM), compuestos orgánicos halogenados que son cancerígenos y que no son analizados de modo rutinario. Este aspecto debe examinarse con detalle en los sistemas operados por las ASADAS y los acueductos

municipales que usan aguas superficiales, ya que estas podrían contener materia orgánica (Programa: Estado de la Nación, 2012).

Cuadro II. Evolución de Cobertura de Agua de Consumo Humano en América Latina, el Caribe y Costa Rica 1960- 2010.

Años	América Latina y el Caribe		Costa Rica	
	Población en miles	% Cobertura	Población en Miles	% Cobertura
1960	209.000	33	1.149	59*
1970	287.000	53	1.770	70
1980	339.000	70	2.216	80
1990	429.000	80	2.959	94
2000	416.000	91	3.824	97
2010	497.000	94	4.300	98

Fuente: Mora et al., 2012, elaborado por OPS, UNICEF, LNA y otros

*Dato oficial del CENSO 1963.

Hasta hace unos años, los riesgos más conocidos derivados del agua de consumo eran las enfermedades infecciosas de transmisión hídrica, pero, con los avances científicos, se han detectado otros riesgos, sobre todo de tipo químico (Varó y Segura, 2009). A medida que se incrementa las necesidades del agua, del mismo modo se incrementa su contaminación.

Aproximadamente el 8% de la población (370.945 habitantes) consume agua que no está sujeta a vigilancia de la calidad, la cual corresponde a la suministrada en condominios y urbanizaciones, o proviene de fuentes de fácil acceso o propias (Contraloría General de la República, 2013).

La situación de manejo del agua en Costa Rica en términos generales no es óptima, como también ya ha sido advertido en diversas ocasiones por el Dr. Darner Mora del Laboratorio Nacional de Agua; pues aun hoy, el 80% de las municipalidades que manejan el agua de las zonas de alta incidencia de cáncer gástrico la manejan de forma deficiente. No obstante para algunos cantones, con los años la calidad relativa del agua ha mejorado. Un ejemplo concreto de esto es el Cantón Central de Cartago, donde se muestra la mejoría del año 1996 al año 2000, y a la fecha esta calidad ha mejorado de forma total, pues actualmente no se consume agua con cloro residual menor de 0,5 mg/L (Montero, 2010).

En Costa Rica no se cuenta con información suficiente para determinar el grado en que la fuente de contaminación difusa afecta los cuerpos de agua. Sin embargo, se conocen casos de contaminación difusa en las fuentes que abastecen las comunidades del El Cairo, Milano, Luisiana y La Francia; lo que ha afectado significativamente a dicha población (Contraloría General de la República, 2013).

La situación anterior fue encontrada en el año 2003 por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET), el cual detectó contaminación por plaguicidas (herbicida bromacil y fungicida triadimefon, ambos empleados en los cultivos de la piña) en nacientes ubicadas en las cuencas de los ríos Destierro y Peje, ambos en el cantón de Siquirres (Limón), las cuales son usadas por las ASADA del Milano, El Cairo y Luisiana para el abastecimiento poblacional (Contraloría General de la República, 2013; Programa: Estado de la Nación, 2012).

Además, una enfermedad común es la diarrea, ha ocupado la segunda causa dentro del grupo de enfermedades de declaración obligatoria en el periodo de 1994 hasta el 2001. Estudios de brotes realizados en diferentes áreas del país han documentado la presencia de enfermedades diarreicas, ejemplo de ello es el brote que se presentó en julio de 2001, en la Gran Área Metropolitana con el resultado de 7.000 personas hospitalizadas; dicha situación se debió a la contaminación multipatogénica en las captaciones de Puente Mulas y Goicoechea del acueducto metropolitano, en las cuales se aisló *Shigella sonnei*, *Shigella flexneri* y virus Norwalk entre otros (Ministerio de Salud, 2004)

De ahí la importancia de contar no solo con agua de consumo humano, sino también con agua potable, que los recursos hídricos prevalezca limpios, porque todos los seres vivos requieren del agua a diario.

2.4 Instituciones públicas que velan por el recurso hídrico en Costa Rica.

El proceso de degradación de los recursos hídricos ha sido una constante en las últimas décadas. En la gestión del recurso hídrico persisten importantes fallas de coordinación y planeamiento, así como traslapes y duplicidad de funciones (Gobierno de Costa Rica, 2010).

Ante esta situación y otras de interés nacional se crea el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2011-2014 “María Teresa Obregón Zamora. El cual cuenta con un marco integrador, una visión integral, capaz de reconocer y atender las cuestiones urgentes y las importantes, para contribuir a un desarrollo sostenido y sostenible (Gobierno de Costa Rica, 2010).

Una forma para conservar el recurso hídrico es por medio de la implementación del Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH). Esta acción supone el avance progresivo en los estudios iniciales, que consideran inventarios de aguas (recursos superficiales, acuíferos, áreas de recarga acuífera y nacientes del país), monitoreo de la calidad de cuerpos de agua, conformación y operación del Subsector de Agua para consumo humano, recolección y tratamiento de aguas (Gobierno de Costa Rica, 2010).

Además, en el país, la Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), le confiere a esta institución, potestades y deberes de empresa operadora y rectora en todo el país, en los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, así como el brindar apoyo a otros organismos como municipios, comités o asociaciones administradoras de acueductos rurales.

Los servicios de Agua para Consumo Humano (ACH) están a cargo de AyA en un 50% de la población del país, acueductos municipales en un 16,7%, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) en 3,6%, y los acueductos comunales a cargo de las Asociaciones y Comités de Acueductos Rurales (ASADAS/CAAR´s) en un 27,5% (Subgerencia de Gestión de Sistemas de Legados, 2010).

Al tener las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillado (ASADAS) el mayor porcentaje de servicios de agua potable, se ha elaborado un Reglamento para las ASADAS publicado en la Gaceta N° 231 del 1 de Diciembre 2000, como el Decreto 29100-S. En él se detallan obligaciones para las ASADAS de acatamiento obligatorio y como ente regulador el AyA.

El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) tiene varias instituciones adscritas que se enfocan en el cuidado del ambiente y algunas en temas a la conservación del agua como son la Dirección de Aguas y el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA).

La misión de la Dirección de Aguas, es contribuir al bienestar de los habitantes del país, mediante una gestión integrada y sostenible del recurso hídrico, que garantice su disponibilidad en cantidad y calidad apropiadas para las necesidades de crecimiento que el país tiene en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (MINAE, 2013).

El SENARA trabaja en cuatro ejes de acción: riego, drenaje, prevención de inundaciones y en la investigación y preservación de los mantos acuíferos, todos ellos orientados al manejo y aprovechamiento óptimo y eficiente del recurso hídrico para la producción nacional, y al desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Existe también Leyes que ayudan a conservar el ambiente como es el caso del siguiente artículo 33 de la Ley Forestal (Asamblea Legislativa, 1996) se declaran áreas de protección las siguientes:

- Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.

Estas áreas protegidas se establecen para preservar la continuidad y disponibilidad del recurso hídrico y así evitar la contaminación del agua.

2.5 Sistemas de tratamiento para agua potable.

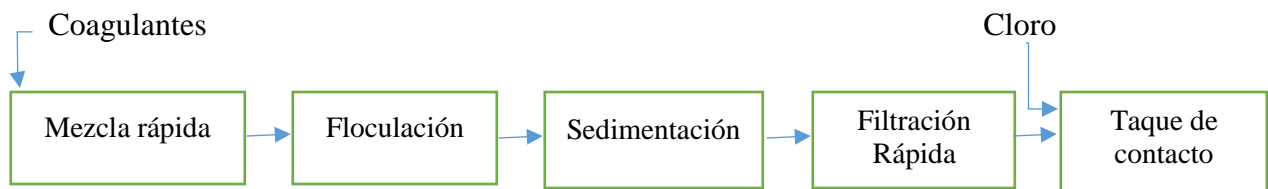
Son las instalaciones que convierten el agua natural o bruta en agua potable. El objetivo del proceso es que el agua a la salida de la planta potabilizadora reúna unas características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, reguladas por ley, que permitan el consumo público y garanticen un agua potable de calidad (López y Rodríguez, 2010).

El objetivo básico del diseño de una planta de purificación de agua es el integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento para que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable. Por lo tanto, la planta de purificación debe

tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentos indispensables (Romero, 1999).

En la Figura 2.a se muestra un esquema que describe las etapas de un sistema de tratamiento para aguas potables con altos niveles de turbiedad y con costos elevados para su operación, el cual consiste en estructuras de coagulación y filtración convencional para remoción de color, turbidez y microorganismo y en la Figura 2.b, se muestra un esquema de una planta para un suministro pequeño con agua cruda de buena calidad usualmente utilizado en poblaciones pequeñas, fáciles de instalar y operar con bajo recurso económico (Romero, 1999).

(a)



(b)

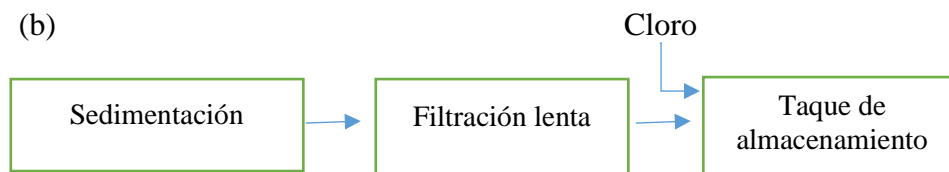


Figura 2. (a) Planta de coagulación y filtración convencional. (b) Filtración directa.
Fuente: (Romero, 1999)

2.5.1 Sedimentación

La sedimentación es la forma más antigua de tratamiento de agua y de uso más extendido, emplea el asentamiento por gravedad para separar las partículas del agua. Es un método relativamente sencillo y económico que se puede aplicar en tanques redondos, cuadrados o rectangulares. La sedimentación se puede hacer después de una coagulación/floculación (para aguas muy turbias) u omitirse por completo con agua de turbidez moderada (Henry y Heinke, 1999).

El agua que contiene materia particulada fluye con lentitud a través de un tanque de sedimentación, y de esta manera se retiene el tiempo suficiente para que las partículas más grande se asienten en el fondo. La separación de partículas muy pequeñas por sedimentación simple sería poco práctica debido al alto costo de construcción de un tanque de sedimentación necesario. El tiempo de retención típico es de 3 horas en tanques de 3 a 5 m de profundidad. Las partículas demasiado pequeñas para sedimentarse en este tiempo se deben eliminar por filtración o por otros métodos (Henry y Heinke, 1999).

Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de la coagulación y floculación. La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como presedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico como el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal (Romero, 1999).

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, la cuales no cambian su tamaño, o forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambia mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido (Romero. J, 1999).

2.5.2 Coagulación y Floculación

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc (Arboleda, 2000).

Según Arboleda (2000) en su libro, explica que dicho proceso se usa para:

- a. Remoción de turbiedad orgánica e inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- b. Remoción de color verdadero y aparente.
- c. Eliminación de bacterias y virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.

- d. Destrucción de algas y plancton en general.
- e. Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

La coagulación comienza en el mismo instante que se agregan los coagulantes. El sulfato de aluminio (alumbre) es el coagulante más común, pero se pueden utilizar también polímeros orgánicos, solos o en combinación con el alumbre (Henry y Heinke, 1999).

En las plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa. La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como resaltos hidráulicos en canales, canaletas de Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, rejillas difusoras y tanques con equipos de mezcla rápida (Romero, 1999).

En seguida de la coagulación, se lleva a cabo la floculación (un mezclado suave de la suspensión), a fin de favorecer el contacto entre partículas. Esto se consigue por mezclado mecánico dentro del tanque de coagulación/ floculación, o por mezclado hidráulico (Henry y Heinke, 1999). La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores (Arboleda, 2000).

De la misma manera que a coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos (Romero, 1999).

2.5.3 Filtración lenta y filtración rápida

Generalmente se emplean dos tipos de filtros: el de arena lento y de arena rápido. Los filtros de arena lentos requieren grandes áreas de terreno y mucha mano de obra a causa de la frecuente limpieza necesaria para producir cantidades suficientes de agua. Ofrecen un medio práctico de filtración de agua para pequeñas comunidades y municipios en países en vía de desarrollo en comparación con los filtros de arena rápidos, su construcción es más económica, su operación más sencilla y eliminan mejor las bacterias, lo cual es una

consideración importante si otros medios de desinfección son poco confiables (Henry y Heinke, 1999).

Durante el proceso de filtrado, los granos del medio filtrante se recubren de material depositado en ellos hasta obstruir el paso del flujo, lo que obliga a limpiarlos periódicamente. Esto se puede hacer raspando las capas superficiales, lavándolas por separado y volviéndolas a colocar en el filtro (se emplea en filtros lentos en donde se remueven partículas discretas que penetran poco dentro del lecho) o invirtiendo el sentido del flujo en él (tradicionalmente en filtros rápidos, que trabajan con agua floculada, y en donde la penetración de las impurezas es mucho más profunda que en los lentos) (Arboleda, 2000).

2.5.4 Desinfección

La desinfección del agua tiene por finalidad la destrucción o inactivación de los microorganismos perjudiciales, patógenos o simplemente molestos que no han sido eliminados en las fases previas del tratamiento del agua. La desinfección no implica necesariamente la destrucción de todos los organismos vivos (proceso denominado esterilización) (Pérez y Urrea, 2011).

La cloración es el método más común para desinfectar el abasto público de agua. Se agregan cantidades suficientes de cloro gaseoso o hipocloritos al agua tratada para matar bacterias patógenas. La cloración es un método de desinfección confiable, relativamente económica y fácil de aplicar. Otros desinfectantes incluyen cloraminas, dióxido de cloro, otros halógenos, ozono, luz ultravioletas y alta temperatura (Henry y Heinke, 1999).

La cloración de aguas superficiales que contienen ácidos húmicos que provienen de fenómenos naturales como la descomposición de vegetales y animales, genera la formación de trihalometanos. Hay altas probabilidades de que estos compuestos sean carcinógenos en concentraciones por arriba de 0.1 mg/L. Los trihalometanos se generan fácilmente cuando hay materia orgánica, o se opera para tener contenidos altos de cloro libre residual en el agua potabilizada (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Algunas características físico-químicas a tratar (Pérez y Urrea, 2011):

-Si existe mucha materia en suspensión los organismos pueden ser inaccesibles al desinfectante.

-Si el desinfectante es un oxidante, la presencia de materia susceptible de ser oxidada disminuirá la cantidad de desinfectante disponible para destruir a los microorganismos.

-El pH del agua influye en las reacciones de algunos desinfectantes con el agua, transformándolos en compuestos con muy baja o nula actividad germicida.

De ahí la importancia de realizar una buena remoción de sólidos para que la actividad del cloro no se encuentre afectada por la presencia especialmente de material orgánico.

2.6 Sistemas de distribución para agua potable y método Hazen-Williams.

Un sistema de distribución de agua debe ser capaz de entregar ya sea el flujo máximo por hora o la demanda diaria máxima, más las necesidades para incendio en cualquier punto del municipio o comunidad (Henry y Heinke, 1999).

Existen dos formas de distribución típicas (Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia, 2005):

- Distribución por gravedad: se aplica cuando la obra de captación y/o tanque de almacenamiento se encuentra en un nivel superior a la red de distribución y se garantice presión suficiente en toda la red.
- Distribución por bombeo: puede aplicarse cuando la ubicación de la obra de captación o tanque de almacenamiento no garantiza presión suficiente en toda la red, por lo que es necesario utilizar dispositivos y equipos que impulsen el agua a través de la red.

Para transportar el agua desde las captaciones hasta la planta de tratamiento de aguas potables, se coloca una tubería denominada “tubería de conducción”. Para el proyecto de una tubería de conducción se deben de tomar en cuenta los siguientes factores (Jiménez, 2013):

- Topografía: Es conveniente obtener perfiles que permitan tener presiones de operación bajas, para lo cual la tubería debe seguir en lo posible el perfil del terreno. En caso de

que existan presiones altas, éstas se pueden disminuir mediante la colocación de estructuras especiales que cumplan con esta función (válvulas, cajas rompedoras de presión).

- Clase de terreno: En general las tuberías de conducción deben quedar enterradas, por lo que es necesario conocer el tipo de terreno por donde se piensa instalar, tratando de evitar los terrenos duros.
- Calidad del agua: Es indispensable conocer los parámetros físico-químicos de la calidad del agua a conducir para poder seleccionar el material de la tubería y evitar que ésta pueda ser dañada por las sales disueltas en el agua.
- Gasto por conducir: Este dato es importante para poder determinar el diámetro de la tubería, generalmente es el gasto máximo diario.

Para un desempeño óptimo de las tuberías de conducción se deben considerar análisis hidráulicos. El método de Flamant es preferiblemente para diámetros pequeños, aunque en general el método de Hazen-Williams es ampliamente empleado (Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia, 2005).

El uso de la fórmula de Hazen-Williams se limita al flujo de agua en tuberías con diámetros mayores de 2 pulgadas y menores a 6 pies. La velocidad del flujo no debe exceder los 10 pies/s (3 m/s) (Mott, 2006).

2.7 Programas utilizados para diseño de redes.

Se han realizados softwares que permiten obtener de una manera rápida y sencilla resultados sobre cálculos hidráulicos de Hazen-Williams, Manning y Darcy-Weisbach, uno de ellos es el software llamado CivilCAD, que se puede integrar a los programas de AutoCAD®, Bricscad® y ZWCAD+ (Martínez, 2008).

CivilCAD contiene extensa ayuda en español y rutinas útiles para anotación automática de datos en líneas y arcos, generación de cuadros de construcción de polígonos y de curvas, reportes de puntos geométricos, memorias descriptivas y técnicas, resumen de áreas, generación automática de perfiles, secciones, curvas de nivel, cálculo de volúmenes en vialidades y plataformas, dibujo de polígonos, curvas y muchas utilerías más (Martínez, 2008).

En el área de la hidrología, existe un programa HidroEsta 2, el cuál es una herramienta que facilita cálculos, y el proceso del análisis de la abundante información que se deben realizar en los estudios hidrológicos. Los estudios hidrológicos requieren del análisis de cuantiosa información hidrometereológica; esta información puede consistir de datos de precipitación, caudal, temperatura, evaporación, etc (Villón, 2012).

Y están los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que se han convertido en una herramienta valiosa porque permite: resolver problemas, tomar mejores decisiones, planificar adecuadamente, aumentar la comprensión y los conocimientos. El software ArcGIS 10.1, logra crear mapas, que constituyen una forma muy efectiva de organizar, comprender y proporcionar grandes cantidades de información de un modo comprensible universalmente (ESRI, 2013).

Para la utilización de ArcGIS 10.1, se crean bases de datos geográfica, esto hace posible que la información geográfica se almacene en un formato estructurado que simplifica la administración, la actualización, la reutilización y el uso compartido de los datos. ArcGIS 10.1 permite diseñar, crear, mantener y utilizar las bases de datos geográficas. Normalmente, las bases de datos son el lugar de almacenamiento y administración de las capas básicas clave de los datos usados en SIG: capas como parcelas, demarcaciones administrativas, redes de servicios, instalaciones, hidrografía, elevación, suelos, etc (ESRI, 2013).

CAPÍTULO III- DESCRIPCIÓN DEL SITIO

3.1. Historia.

En la época precolombina el territorio que actualmente corresponde al cantón de El Guarco, estuvo habitado por indígenas del llamado reino Huétar de Oriente; que eran dominios del cacique Guarco, quien murió antes o principios de la Conquista; asumiendo el cacicazgo su hijo Correque. El pueblo Tobosi es anterior a la llegada de los españoles; que en 1561 descubrieron el valle de El Guarco. En 1563 se traslada la población de Garcimuñoz, que se había fundado previamente en el valle de Santa Ana.

El 18 de octubre de 1915, se promulgó la ley No. 20, sobre división territorial para efectos administrativos, en la que aparecen los barrios Concepción, San Isidro, Tobosi y El Tablón conformando el distrito séptimo del cantón de Cartago.

En 1923 se iniciaron gestiones para instalar la cañería y dos años después para el alumbrado eléctrico y el telégrafo, en el segundo gobierno de don Ricardo Jiménez Oreamuno.

El nombre del cantón se debe a la memoria del Cacique Huétar que habitó en la región, es una palabra indígena que viene del náhuatl que significa Qualcan, qualli: bueno, conveniente; y can: lugar; o sea Buen lugar. O de acuerdo con la versión del padre don Alonso de Molina; lugar abrigado y conveniente.

3.2 Geografía.

3.2.1 Ubicación Geográfica

El acueducto de San Isidro del cartón El Guarco en la provincia de Cartago, se ubica en las coordenadas CRTM05 504616,50 m Latitud Norte y 1086892,63 m Longitud Oeste con una altitud de 1470 metros sobre el nivel del mar (msnm). A continuación se presenta en la Figura 3 la ubicación de la ASADA San Isidro en el Territorio Nacional (punto rojo).



Figura 3. Ubicación de la ASADA en Territorio Nacional.

Fuente: Elaboración propia.

Según el Plan de Desarrollo Humano Local 2010-2020, Cantón El Guarco (2009), es un cantón cuya mayor cantidad de habitantes viven en zona urbana, concentrándose esta población en los distritos de El Tejar y San Isidro. Siendo San Isidro el segundo distrito de mayor población de El Guarco.

3.2.2 Uso del suelo

El 40% de la superficie cantonal se encuentra ocupada por cultivos anuales cuando esos terrenos no presentan condiciones favorables para las actividades agronómicas debido al riesgo de erosión de los mismos. Así mismo un 5,9% de la superficie está compuesta por diferentes tipos de ocupación humana con un alto grado de vulnerabilidad ambiental.

Por otro lado un 2,3% de la superficie se encuentra ocupada por cultivos anuales o permanentes en zonas con riesgo de erosión del suelo y vulnerabilidad de acuíferos moderada, un 1,3% por áreas urbanas en zonas de fallas activas y un 1,2% por áreas urbanas en zonas sometidas a procesos geodinámicos externos de peligro intermedio. Si se tiene en cuenta la superficie de la Zona Protectora, el área con un uso de suelo adecuado asciende hasta el 51% (Plan Regulador, 2007).

3.2.3 Geología

El Cantón del Guarco se localiza en una región caracterizada por abundantes sistemas de fallas, que han mostrado en diferentes épocas históricas actividad sísmica importante (CNE, 2006)

3.2.4 Topografía

El relieve del cantón es alto o muy alto dependiendo de las zonas, algunas con pendientes mayores al 60% pero nunca inferiores al 30%, salvo en el extremo noreste en donde es moderado (pendientes 15-30%).

La cabecera cantonal (El Tejar) es la parte del territorio que es más plano, mientras que los distritos de Tobosi y San Isidro son los de mayor topografía irregular por las pendientes que existen, las zonas urbanas se han ubicado en las partes bajas de las secciones montañosas.

El distrito San Isidro, que es de interés en esta investigación se ubica a 1388 m sobre el nivel del mar (Fallas, 2010).

3.2.5 Hidrología

El sistema fluvial del cantón El Guarco, corresponde a las vertientes del Caribe y del Pacífico. A la primera, que corresponde a la subvertiente Caribe, pertenece la cuenca del río Reventazón- Parismina, la cual es drenada por el río Macho con sus afluentes del río Damita y las quebradas Guayabillos, Bejuco y Perica; lo mismo que por el río Estrella y sus

tributarios del río Empalme y las quebradas del río Empalme y las quebradas Palmital, Chiflón , Cangreja y Yugo; así como por el río Purires al que se unen los ríos Lobo y Coris; los ríos Purires y Reventado dan origen al río Aguacaliente, otro río que irriga el área es el Humo y las quebradas Ojo de Agua y Palanca. A la vertiente del Pacífico, pertenece la cuenca del río Pirrís, la cual es drenada por el río San Cristóbal Norte y las quebradas de Patio de Agua, Común y Caragral.

3.3 Clima.

Debido al problema de disminución de caudal en temporada seca que presentan las quebradas, se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN), datos de precipitación, temperatura máxima y mínima, en un periodo de 5 años (2008- setiembre de 2013) de la estación Linda Vista ubicada en El Guarco, como se puede observar en la Figura 4.

3.3.1 Precipitación y temperatura

La temporada seca se presenta entre los meses de diciembre a abril; por su parte, época lluviosa en los meses de mayo a noviembre. Presenta un temperatura mínima que se extiende entre los 13,9 °C (enero) y 15,8 °C (junio); temperaturas máximas pueden alcanzar hasta los 25,1 °C como sucede en el mes de mayo.

Según lo muestra la Figura 4, la precipitación promedio anual de la región es de 1587,3 mm. Los meses con presencia de mayor precipitación son setiembre y octubre con 224,2 y 336,0 mm, aportando el 14,1% y 21,2 %, respectivamente de la precipitación promedio anual.

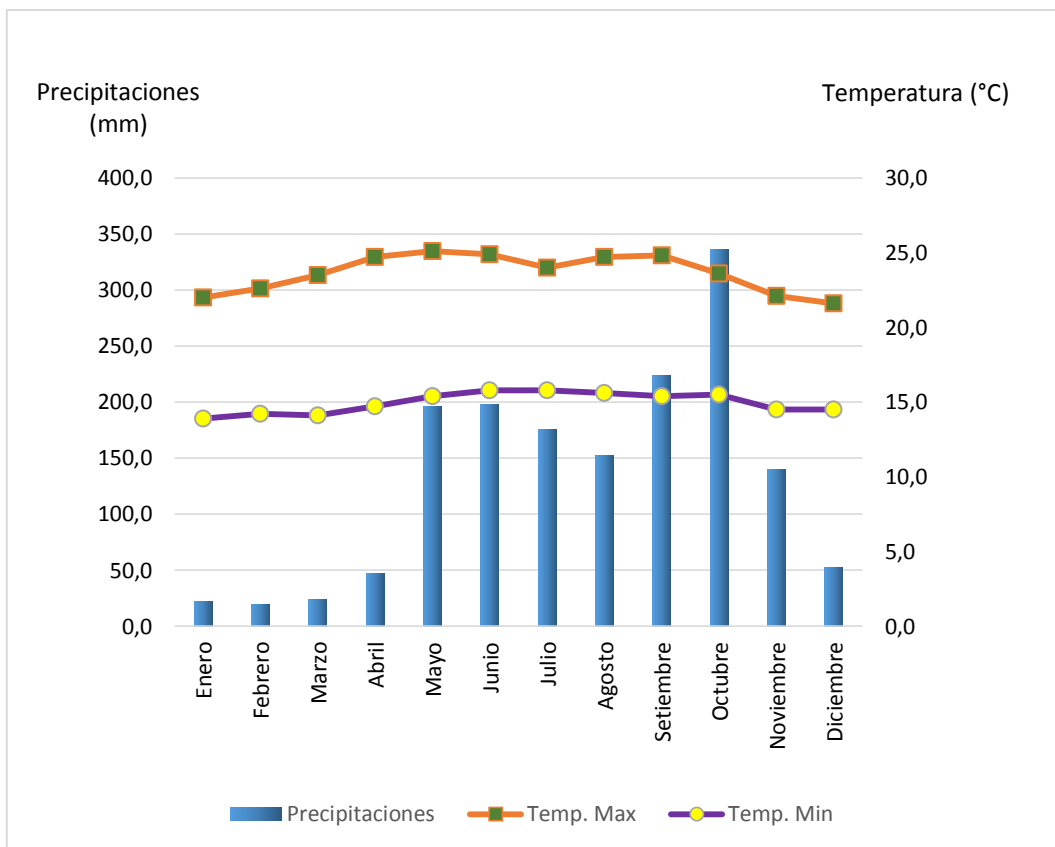


Figura 4. Precipitación y temperatura máxima y mínima mensual para la región de San Isidro, El Guarco.

3.4 Calidad y Cantidad del Agua en San Isidro, El Guarco.

La ASADA contrata actualmente los servicios del laboratorio LAMBDA, para que realicen los análisis de calidad del agua cada tres meses. Los análisis brindados para este trabajo son del período del año 2013, con esto se pudo conocer las características del agua para conocer la eficiencia del sistema en la potabilización del líquido.

En época de lluvia se genera un aumento de sólidos en las quebradas y por lo tanto el tratamiento debe ser efectivo para remover la turbiedad que se genera, en este caso el filtro debe estar en condiciones óptimas para desempeñar su labor. No obstante, al ser un filtro de flujo ascendente, la cantidad de agua a tratar es de 5,5 L/s como máximo. Solamente cuenta con un módulo de filtración, por lo que hace falta la construcción de por lo menos dos filtros, preferiblemente en paralelo para su correcta operación y mantenimiento.

El proceso de desinfección es por medio de pastillas de cloro, por lo que necesita de agua para diluir las pastillas. No obstante, el agua que se utiliza para llevar a cabo la dilución viene directamente desde las captaciones (agua cruda), no ha pasado por el proceso de tratamiento, disminuyendo la efectividad de desinfección de la cloración en eliminar los patógenos que pueda traer el líquido. Ante esta situación se mide cloro residual libre en la última conexión de la red de distribución para conocer si la dosificación realizada por la ASADA es la correcta y cumple con el valor solicitado en el Reglamento de Calidad de Agua Potable.

La ASADA San Isidro, se ve afectada en temporada seca por la falta de agua para el continuo suministro a la comunidad. Esto sucede porque las captaciones El Cubano y Casa Blanca #1 disminuyen considerablemente el caudal, debido a la falta de lluvia durante ese tiempo. El acueducto recurre a la suspensión del servicio de abastecimiento en las mañanas, para llenar el tanque de almacenamiento.

Por la falta del recurso hídrico, en este trabajo la prioridad es buscar una solución proponiendo fuentes de agua para el abastecimiento y así asegurar la cantidad de agua para las necesidades básicas y consumo para la comunidad de San Isidro. Mejorar el sistema de tratamiento para asegurar la calidad del agua a los consumidores y evitar posibles enfermedades por contaminación hídrica, y también se evalúa el volumen del tanque de almacenamiento para una proyección de la población a 20 años.

3.5 Balance Hídrico.

Con los datos promedio de temperatura y precipitación durante el periodo 2008 a setiembre 2013, se obtiene el balance hídrico por el método de Thornthwaite.

Cuadro III. Balance hídrico por el método Thornthwaite.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T(°C)	18.0	18.0	18.0	19.0	20.0	20.0	19.0	19.0	20.0	19.0	18.0	18.0
i	6.95	6.95	6.95	7.55	8.16	8.16	7.55	7.55	8.16	7.55	6.95	6.95
f	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
ETo(mm)	61.82	57.41	64.98	72.24	83.77	82.22	75.75	75.05	79.11	71.54	61.82	62.45
P(mm)	22.0	19.0	24.0	47.0	196.0	198.0	176.0	152.0	224.0	336.0	140.0	52.0
P-e (mm)	-39.82	-38.41	-40.98	-25.24	112.23	115.78	100.25	76.95	144.89	264.46	78.18	-10.45

Fuente: Hidroesta

Donde:

T: Temperatura media mensual (°C)

i: Índice térmico mensual

f: Factor de corrección

Eto: Evapotranspiración de referencia mensual corregida

P: Precipitación media mensual (mm)

e: evapotranspiración mensual (mm)

Como se muestra en el Cuadro III, existe un déficit de agua durante el verano, por tal motivo se realizaron mediciones de caudales en las quebradas para conocer el agua disponible para abastecer a la comunidad.

3.6 Análisis de Población.

Se tiene información básica como el número de usuarios registrados por la ASADA y la población que atienden, para estimar el caudal máximo diario que deben de tratar para una distribución permanente a la comunidad durante 20 años.

Se emplea el método Geométrico para la proyección de la población a futuro que la ASADA requiere, el cual se expresa como:

$$\frac{dP}{dt} = i P \quad \frac{dP}{P} = i dt \quad (\text{ecuación 1})$$

Integrando entre los límites de último CENSO y el CENSO inicial se tiene:

$$\int_{Pb}^{Pf} \frac{dP}{P} = i \int_{tb}^{tf} dt \quad \ln Pf - \ln Pb = i(tf - tb) \quad (\text{ecuación 2})$$

Es decir que la población futura, sería:

$$Pf = Po(1+i)^{(tf-to)} \quad (\text{ecuación 3})$$

Se puede considerar como $t = t_f - t_o$. El valor de i se estima como un promedio entre los censos o se estima entre dos períodos censales, o sea:

$$i = (P_f / P_o)^{1/t} - 1 \quad (\text{ecuación 4})$$

Dónde:

i : constante de crecimiento de población geométrica

P_f : Población proyectada

P_o : Población inicial

t : Periodo de diseño

Los cálculos para el diseño de un sistema de tratamiento y en especial del tanque de almacenamiento, se requiere una serie fórmulas que se presentan a continuación.

Caudal Medio Diario: es el consumo que se espera realice la población de diseño durante un periodo de un día.

$$Q_{md} = \frac{\text{Num de habitantes} * \text{Dotación}}{86\,400} \quad (\text{ecuación 5})$$

Caudal Máximo Diario: es el máximo consumo que se espera realice la población en un día y se calcula como un factor de ampliación (K_1) del Q_{md} , dicho factor está establecido por la norma del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2007) con un valor de 1,5.

$$Q_{max.d} = K_1 * Q_{md} \quad (\text{ecuación 6})$$

Caudal Máximo Horario: es el máximo gasto que será requerido en una determinada hora del día, y se calcula como un valor ampliado del Q_{md} . Para este caso la norma del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (2007) establece un k_2 de 2.25.

$$Q_{max.h} = K_2 * Q_{md} \quad (\text{ecuación 7})$$

Para conocer las dimensiones finales del tanque de almacenamiento se debe calcular el volumen de regulación, el volumen de reserva y el volumen contra incendios, el que dé mayor entre ellos se emplea para el diseño del tanque de almacenamiento, a continuación se exponen las fórmulas.

Volumen de regulación:

$$V_r = C * Q_{\max.d} \quad (\text{ecuación 8})$$

Donde:

V_r = Volumen de regulación en m^3

C = Coeficiente de regulación

Sistemas con tanques semienterrado 0,15 a 0,30

$Q_{\max.d}$ = Caudal máximo diario en m^3/d

t_r = Tiempo en días (1 día como mínimo)

Volumen de reserva

$$V_{re} = 3,6 * Q_{\max.d} * t_{re} \quad (\text{ecuación 9})$$

Donde:

V_{re} = Volumen de reserva en m^3

$Q_{\max.d}$ = Caudal máximo diario en l/s

t_{re} = Tiempo de reserva en horas (entre 2 a 4 horas)

Volumen contra incendios

$$V_i = 3,6 * Q_i * t_i \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

V_i = Volumen contra incendios en m^3

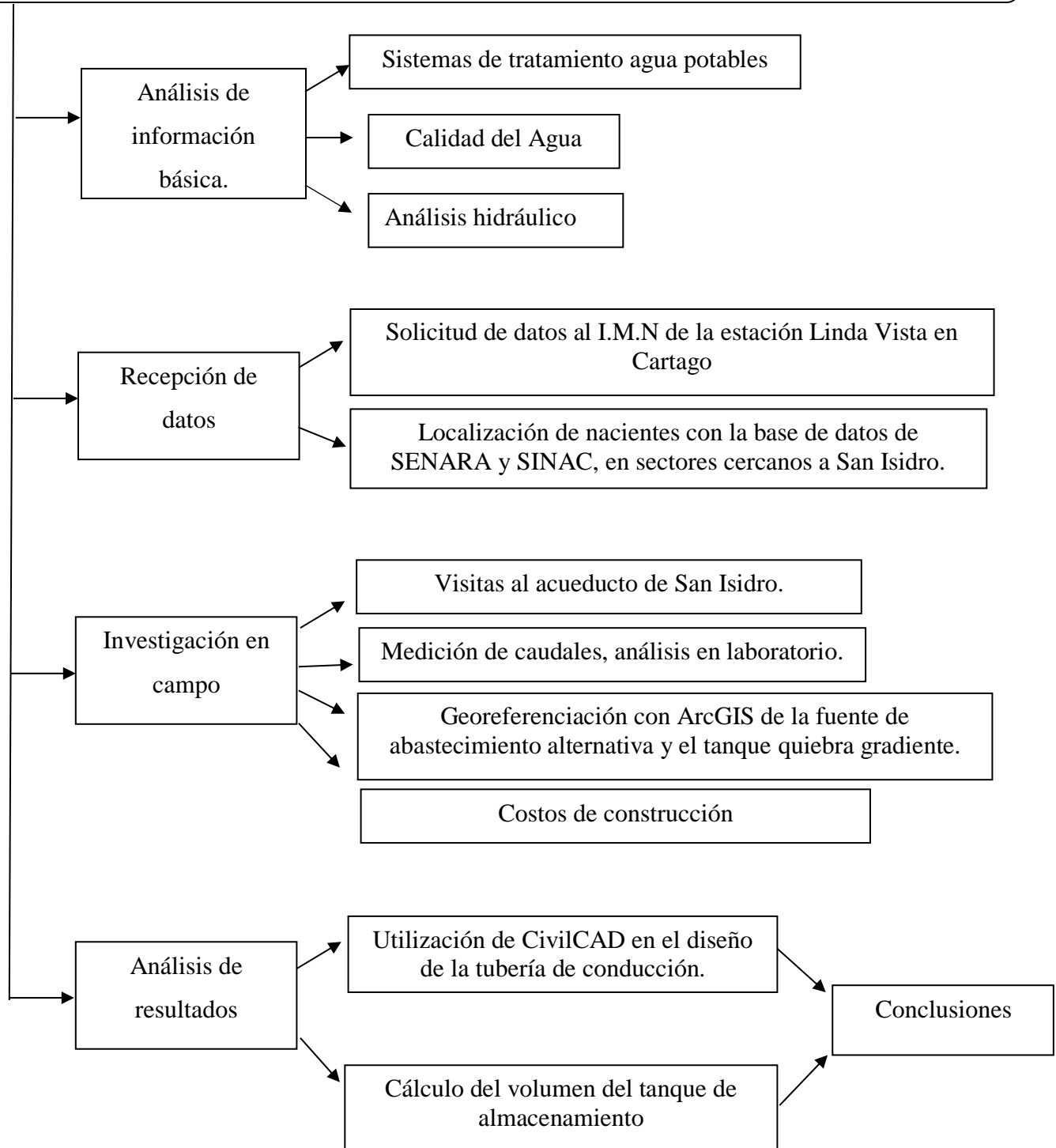
Q_i = Caudal contra incendios en l/s

t_i = Tiempo en horas (entre 2 a 4 h)

También, se solicitó a la administradora material de informes técnicos y análisis de calidad de agua, para obtener información necesaria en la toma de decisiones a la hora de realizar este trabajo.

CAPÍTULO IV- METODOLOGÍA

Evaluación de nuevas fuentes de aguas y mejora del acueducto de San Isidro de El Guarco.



4.1 Análisis de información básica.

En esta investigación; se consulta diversas fuentes que proporcionan información sobre la condición actual del agua potable para consumo humano en Costa Rica y la gestión de los acueductos rurales (ASADAS) en temas de distribución del agua.

Además, se revisa información sobre las estructuras que conforman un sistema de tratamiento en acueductos pequeños en especial de desarenadores, filtros, desinfección y tanque de almacenamiento y así se compara y evalúa la planta de tratamiento que posee la ASADA de San Isidro con la normativa actual. También se emplea la fórmula hidráulica de Hazen-Williams para el análisis en la tubería de conducción de las posibles fuentes de abastecimiento seleccionadas.

4.2 Recepción de datos.

Se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional, datos de precipitación y temperatura máxima y mínima para conocer la variación de la precipitación de la zona y realizar el balance hídrico para estimar la disponibilidad de agua en la zona para abastecer a la comunidad actualmente y a 20 años plazo.

Se trabajó junto con SENARA y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), mediante correos y visita a la oficina del SINAC ubicada en Cartago, para localizar pozos y nacientes cercanas a la comunidad de San Isidro. Con el fin de conocer el caudal de cada nacimiento, y así procurar que sirvan para abastecer en un mediano o largo plazo a la ASADA de San Isidro; como se muestra en el Anexo 2.

4.3 Investigación en campo.

Se realizó visitas a las quebradas del actual acueducto de San Isidro, además se les solicitó información sobre informes técnicos y análisis de calidad de agua.

Se realizaron pruebas de laboratorio para determinar la efectividad del sistema de tratamiento de aguas potables, especialmente en el filtro por la presencia de color y sólidos en el agua de los consumidores en época de lluvia y en la desinfección para asegurar que la

dosificación sea óptima. Se realizaron mediciones horarias de caudal. Se visitaron las nacientes que podrán utilizarse en un futuro para suplir las necesidades de agua.

Las pruebas llevadas a cabo son:

- Turbiedad
- Conductividad
- Cloro residual

Con los costos de construcción se contactó con constructoras nacionales para conocer el costo de instalación de la tubería de conducción y construcción del tanque de almacenamiento.

4.4 Análisis de resultados.

Con CivilCAD se conoció la topografía del terreno de la tubería de conducción y su análisis hidráulico. En el caso del tanque de almacenamiento se realizó medición del caudal por 12 horas y se comparó con fórmulas teóricas el volumen que se requiere para una población proyectada a 20 años.

CAPÍTULO V-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variación de la precipitación en la zona de San Isidro de El Guarco.

Debido a la disminución de caudal que se presentó en temporada seca en las quebradas, se contactó al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para observar cómo ha variado la precipitación y la temperatura en un periodo de 5 años (2008- setiembre de 2013) ver Anexo 5.

Por medio del software HidroEsta, se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de una precipitación en cada mes, al 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95 %, utilizando los datos de precipitación media dados por el IMN, el gráfico es suministrado por (Figura 5).

Observando la Figura 5, se muestran las probabilidades de intensidades de precipitación, el mes de abril es el de menor presencia de lluvia, mientras octubre es el que muestra la mayor incidencia por precipitación.

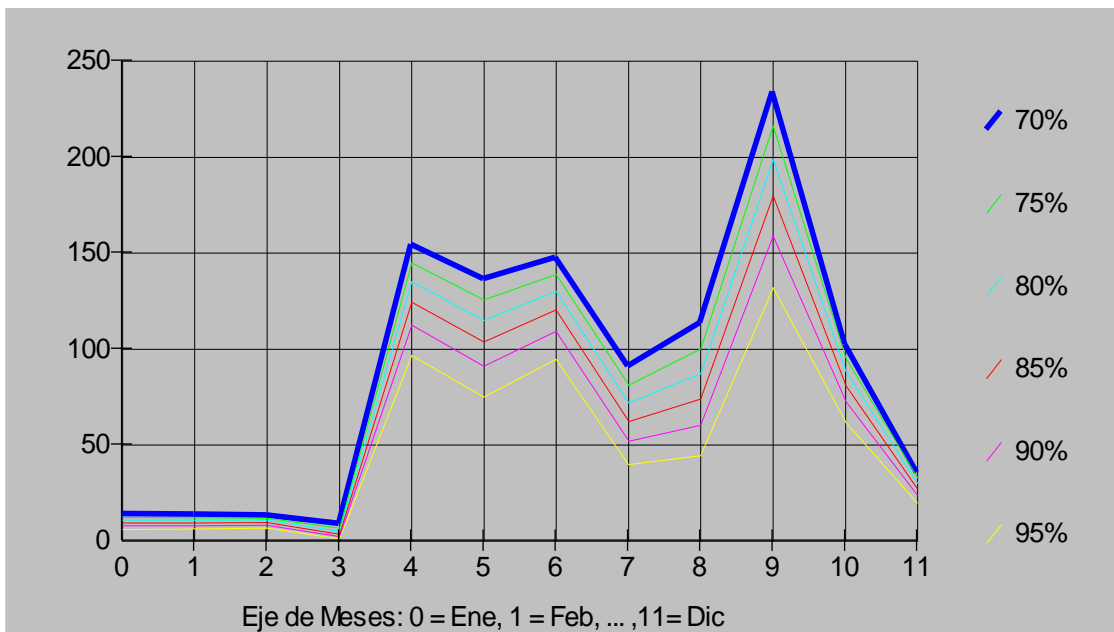


Figura 5. Gráfico de curvas de variación estacional para las precipitaciones. Fuente: HidroEsta

Con la información anterior, se puede deducir que las fuentes de captación superficiales de la ASADA, se verán afectadas por la disminución de agua durante el periodo de enero a abril, como se presencié a inicios del 2013. Por lo que procedió a realizar aforos en el mes de febrero del 2014 en las quebradas. En el caso de la quebrada Casa Blanca #1, se encontró prácticamente seca con un aforo de 0,84 L/s; en las dos tomas de captación existentes en la quebrada El Cubano, presentan caudales de 2,04 L/s y 4,36 L/s. La naciente Casa Blanca #2 con un aforo de 1,53 L/s.

Por eso la importancia de buscar nuevas fuentes de agua para abastecer a la población de San Isidro. La falta del recurso hídrico ha ido aumentando en las quebradas El Cubano y Casa Blanca #1, como se pudo comprobar con visitas al lugar; la necesidad primordial que tiene la ASADA es encontrar y utilizar otras fuentes de aguas, porque con el fenómeno de poca precipitación las fuentes superficiales son directamente afectadas.

5.2 Evaluación de las condiciones actuales del acueducto

El abastecimiento de agua potable del distrito de San Isidro está a cargo directamente de la ASADA desde el año 2003, quienes tienen la obligación de brindar un excelente servicio a sus usuarios en cuanto a calidad y cantidad del recurso hídrico se refiera.

La estructura del sistema tratamiento tiene más de diecisiete años de haberse construido y por lo que cada una de sus cámaras se les debe dar mantenimiento y brindar mejoras para un buen desempeño para los próximos años.

El consumo registrado por la micro-medición durante el mes de enero 2014, es de un caudal medio diario de 14 106 m³/mes (5,44 L/s aproximadamente), con un caudal máximo de 8,16 L/s, según de lo anterior. Siendo un consumo mayor el obtenido del cálculo del caudal medio diario teórico y caudal máximo teórico (7,64 L/s y 11,45 L/s) para la población actual de 3 300 personas.

5.2.1 Captaciones.

- Superficiales:

El camino para llegar a las tomas de captación El Cubano de agua superficial, Casa Blanca #1 de agua superficial y Casa Blanca #2 de agua subterránea está pavimentado, ya que se encuentran cercanas a la carretera interamericana sur (ruta 2) como se muestra en la Figura 7. El acceso a dos de las tomas es restringido por ser propiedad privada, cuentan con puertas que impiden la entrada a particulares.

En la quebrada El Cubano, existe dos tomas de captación, separadas a una distancia de 20 metros, la captación que está antes del tanque de reunión, recibe el agua de dos caudales, uno de la quebrada original y el otro de una pequeña quebrada que la interseca.

La otra toma llamada Casa Blanca #1 se encuentra cerca de la naciente Casa Blanca #2 en la finca Lola, esta última quebrada casi no tiene agua, por lo que se considera despreciable.

Ambas zonas cuentan con un área de protección rodeada de árboles como se muestra en la imagen área de la Figura 15 en la sección 5.3. Al ser un lugar montañoso no se ubican focos de contaminación cercanos a las quebradas que puedan afectar el recurso; solamente el dueño de esta propiedad que siembra en un terreno pequeño en una parte alejada y aguas abajo de las tomas de captación.

La estructura de ambas tomas está hecha con concreto de 50 centímetros de altura, para la retención del agua y con un desvío para capturar el caudal que entra al tanque de reunión por medio de un tubo con perforaciones, que funcionan como rejillas para la retención de sólidos (Figura 6). Además, colocan una malla alrededor del tubo para que detenga la hojarasca.

El nivel del agua que se presentó durante los meses de enero a agosto del año 2013, fue muy bajo, mientras en los meses de setiembre a noviembre ha subido el nivel, con rebalse en las captaciones según comentarios del fontanero (Solano¹, comunicación personal).

¹ Enrique Solano Aguirre, era fontanero en la ASADA San Isidro, trabajó hasta el mes de noviembre 2013.



Figura 6. Tubo ubicado en la captación El Cubano, 2013.

Los dispositivos de toma son tuberías de PVC con diámetros 100 y 75 mm. Los mecanismos de limpieza en las tomas son artesanales, pues la tubería posee agujeros y una malla alrededor que funciona como rejillas. No cuenta con unidades de aforos.

- Subterráneas:

La naciente se encuentra encerrada por una estructura de concreto rectangular y con una tapa de vidrio para protegerla de la lluvia, roedores y sólidos (hojas y ramas) como se muestra en la Figura 8. En el lugar donde se encuentra está protegido por una cerca de alambres de púas a 5 metros de distancia de la carretera principal. El acceso a particulares es restringido.

No presenta focos de contaminación cercanos, ya que es bosque a su alrededor y no hay presencia de actividades como ganadería y agricultura que puedan afectar la calidad del agua de la naciente.



Figura 7. Tapa de vidrio de la captación de la naciente Casa Blanca, 2013.

El tanque de reunión en la finca De Lola, recoge el agua de la naciente y de una quebrada, para luego llevarla a un segundo tanque de reunión llamado El Cubano. Al tener ambos tanques una captación de concreto, prácticamente en buen estado, se evita la infiltración de aguas de escorrentía y el ingreso de animales.

Mapa 1. Ubicación de las captaciones de la ASADA y su zona de acceso.

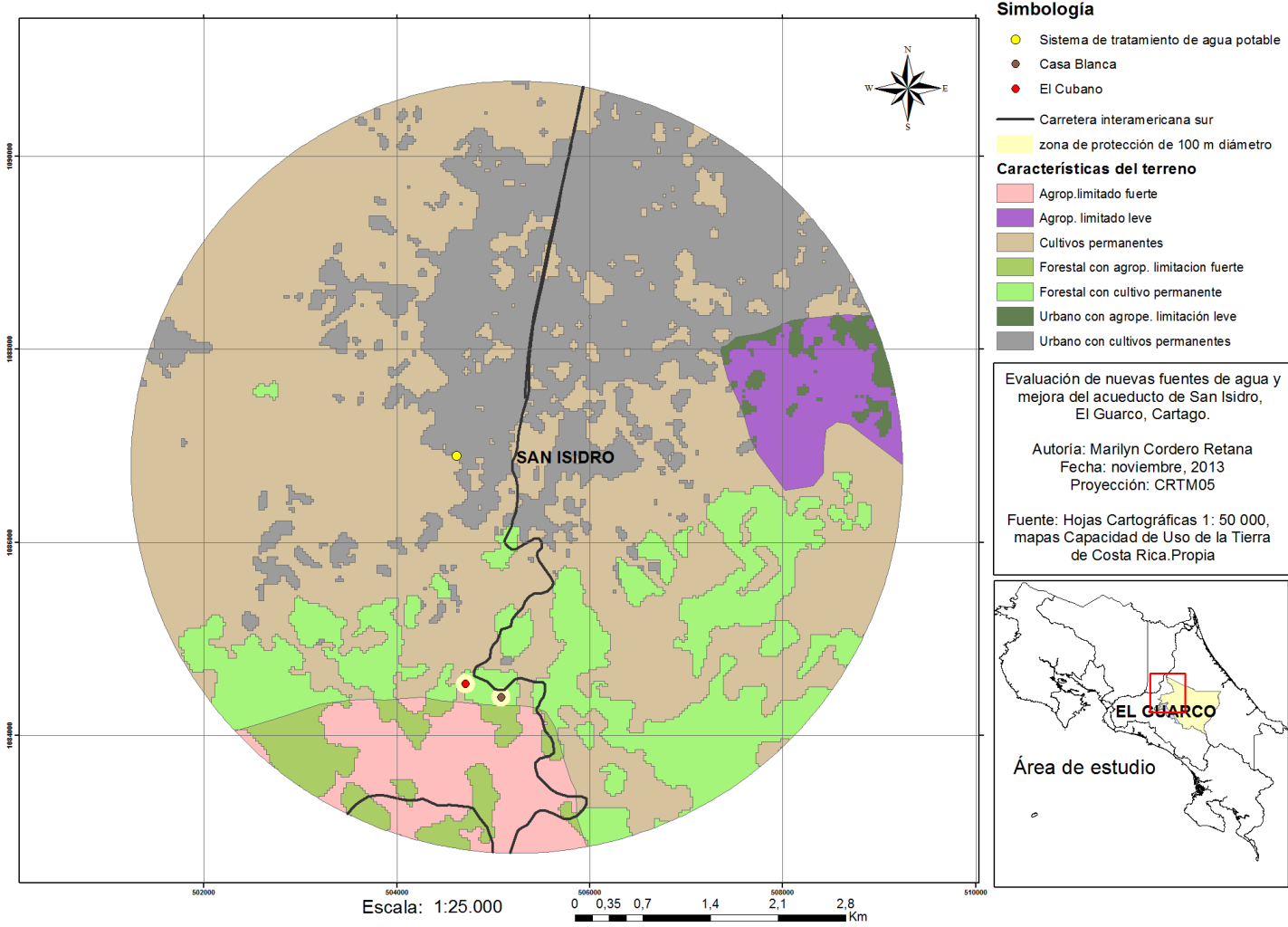


Figura 8. Mapa 1. Ubicación de las captaciones de la ASADA y su zona de acceso, 2013.

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Tubería de conducción.

Las tuberías de conducción desde las tomas de captación hasta el tanque de reunión El Cubano, poseen diámetros de 3 pulgadas, se encuentran expuestas con presencias de fugas (Figura 9) y las del tanque de reunión El Cubano hasta la planta de tratamiento, presentan de 3 y 4 pulgadas.

Hubo una parte del trayecto de la tubería conducción en la que se logró entrar, ya que es una zona de difícil acceso, porque está cubierto de maleza y hay una pronunciada pendiente, en determinado caso hasta puede ser causa de accidentes. Por lo que no se pudo comprobar el trayecto de la tubería en ese sector.

Como el sistema es por gravedad, las tuberías no requieren de bombas para el transporte del agua. Poseen un tanque quiebra gradiente, que ayuda a controlar la presión que trae el agua en la tubería de conducción.



Figura 9. Tubería de conducción desde las captaciones al tanque de reunión El Cubano, 2013

5.2.3 Sistema de tratamiento de agua potable.

Cuenta con un desarenador, un filtro lento ascendente con dimensiones 1,25 x 3,75m con una profundidad de 2,70 m, una cámara de cloración por pastillas y un tanque de almacenamiento, no posee dispositivos para la medición y regulación del caudal de entrada.

El agua es llevada por gravedad en la red de distribución hasta la casa más alejada del tanque de almacenamiento. Los controles del caudal los realizó el fontanero de la ASADA, pero no registró ningún dato.



Figura 10. Planta de tratamiento de agua potable, ASADA San Isidro, 2013.

La planta está ubicada en una propiedad privada, como se puede observar en la Figura 10, cerca de cultivos y ganado, además el terreno que la rodea está erosionado sin canales que desvíen el agua de escorrentía, por lo que cuando llueve esta se dirige al sistema de tratamiento. Está rodeada de una malla con alambre de púas en la parte superior y la casetilla de cloración posee un sistema de alarma.

En la Figura 11, se muestra las dimensiones obtenidas de las mediciones internas de cada estructura. El sistema de potabilización inicia con tanque de sedimentación o desarenador. Es una estructura de concreto, mide 3,75 x 3,70 m y posee aproximadamente 2,00 m de profundidad con una pequeña inclinación para el desagüe de lavado (el desagüe se ubica a un costado de una de las paredes laterales). Con una capacidad de 27,75 m³.

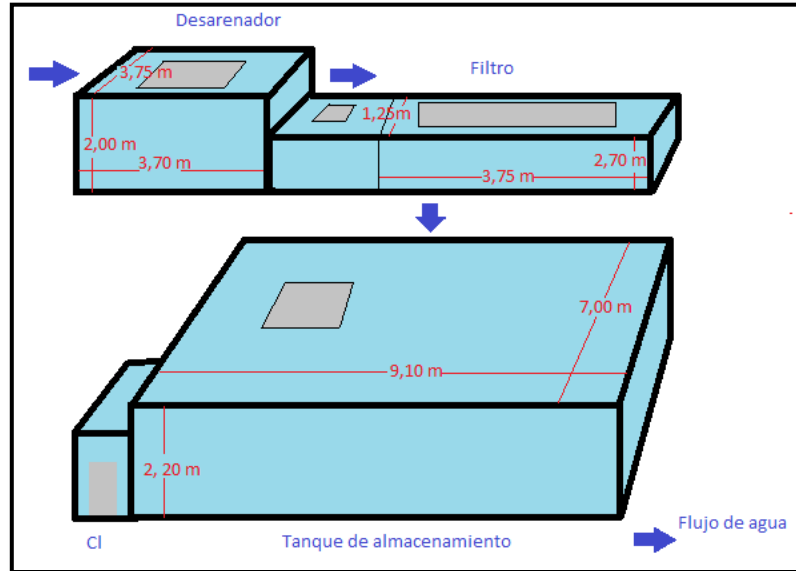


Figura 11. Dimensiones internas del desarenador, filtro y tanque almacenamiento de la PTAP, 2013. Fuente: Elaboración propia

Se observa grietas en las paredes, las escaleras son de hierro y presentan corrosión, se puede ver en la Figura 12. También se dio la presencia de hojas de árboles. El agua ingresa por la parte superior del tanque y sale por el otro extremo de igual manera.

El desarenador no posee válvula para purga de lodos, para limpiarlo se abre una válvula para que salga el agua hacia una quebrada. Una vez vacío el tanque, su lavado se realiza de forma manual, como se muestra en la Figura 12. Por lo que no se asegura que todos los sólidos se retiren del tanque.



Figura 12. Limpieza de la cámara del desarenador.

En el caso del filtro, es una cámara de 1,25 x 3,75 m con una profundidad de 2,70 m y la altura de la arena es de 2,00 m. Es de flujo ascendente y el material solamente es arena de una misma granulometría, según Cerdas² (2013). Según estudio de Ingenieros Consultores y Ejecutores de Acueductos S.A (2012), el filtro está compuesto por tres capas de grava de diferente tamaño y una de arena gruesa.

Se observó que el agua se encontraba más turbia en el filtro que en el desarenador, por lo que se decidió realizar pruebas de turbiedad del agua en el filtro y en el tanque de almacenamiento. Las muestras se hicieron en el mes de noviembre en el laboratorio de Ingeniería Ambiental del ITCR.

El agua del filtro lento, es la que presenta mayor nivel de turbiedad en época de lluvia, una de las causas puede ser la falta de limpieza de la arena, ya que no se ha realizado un retrolavado de arena en más de 17 años en ese período tampoco se ha cambiado la arena. Otro problema es la turbulencia que provoca una tubería prevista para flujo descendente, pero en el día a día no tiene ninguna función, lo que causa una entrada de aire; y la otra debilidad es la falta de grava de mayor tamaño que sirva para retener la arena, ya que como es de flujo ascendente, puede arrastrar material y transportarlo al tanque de almacenamiento.

Se deben tomar medidas respectivas para controlar los altos niveles de turbiedad. El filtro lento tiene una limitación operativa, ya que no puede trabajar a niveles mayores a 10 UNT, valor de diseño para un filtro lento operado con propiedad, y del que se espera una turbiedad del efluente menor de 1 UNT (National Environmental Services Center, 2009).

La cloración que se aplica consiste, en desviar una tubería de ½” para disolver las pastillas de cloro, luego la disolución pasa por otra tubería de ½” al tanque de almacenamiento. Sin embargo, el agua que utilizan para disolver la pastilla proviene directamente de las captaciones (Figura 13).

² Gerardo Cerdas, fontanero actual de la ASADA San Isidro.



Figura 13. Pastillas de cloro al 90% de concentración y tubería de entrada de agua para diluir las pastillas.

A pesar de que existe cloración como método de desinfección, el agua que se utiliza para disolver las pastillas de cloro es tomada directamente del tubo de conducción que transporta el agua desde las captaciones, sin tratamiento previo; por lo que deja en duda si la desinfección se está llevando por completo, ya que la cloración debe ir después del filtro. Es posible que la efectividad del cloro se encuentre afectada, ya que, al haber sólidos suspendidos, los microorganismos se resguardan y el cloro no los logra eliminar por completo (Pérez y Urrea, 2011).

Ante esta situación, se realizó una medición de cloro residual libre, en la última conexión de la red de distribución y así saber si la cantidad de cloro que dosifican es suficiente para encontrarlo en las tuberías de los usuarios; por lo que la muestra se llevó a cabo en el grifo de la empresa Mucho Tanque, el valor del cloro residual libre fue de 0,6 mg/L, siendo el valor máximo permisible en el reglamento del agua potable (Poder Ejecutivo, 2005).

La capacidad del tanque de almacenamiento actual es de 140 m³. La entrada del tanque es por la parte superior, y la salida a la tubería de distribución es por la parte inferior a una altura de 20 cm del suelo (debería ir un poco más arriba del medio del tanque para evitar arrastre de sólidos sedimentables). Posee una tubería de ventilación para liberar los gases. Tiene varias grietas donde se presentan fugas y las válvulas están en mal estado.

5.2.4 Remoción de la turbiedad en la planta de tratamiento de agua para el cumplimiento de la legislación nacional.

Para los análisis de agua, la ASADA contrata actualmente al laboratorio LAMBDA. Según los resultados de la calidad del agua potable, registrados en temporada seca y en temporada de lluvia del 2013; el agua cumple con los parámetros de la legislación nacional, los mismos se encuentran en el Anexo 3.

Los resultados de los análisis de turbiedad presentes en el Cuadro IV, en el filtro, durante el mes de noviembre del 2013, se presentó un alto valor de turbiedad, el cual dio 12,95 UNT y en el tanque de almacenamiento un valor de 5,33 UNT.

Cuadro IV. Resultados de los análisis de turbiedad de las muestras provenientes del filtro y tanque de almacenamiento y resultados de los análisis realizados por el laboratorio LAMBDA. Cartago, 2013-2014.

Lugar	Fuente	Mes	Año	Turbiedad ³ (UNT)
Filtro	Medición propia	Febrero	2014	0.44
Tanque de almacenamiento	Medición propia	Febrero	2014	0.76
Filtro	Medición propia	Noviembre	2013	12.95
Tanque de almacenamiento	Medición propia	Noviembre	2013	5.33
Casa de habitación	LAMBDA	Agosto	2013	0.65
Final de red acueducto	LAMBDA	Agosto	2013	0.45
Tanque de almacenamiento	LAMBDA	Abril	2013	<0.1

Fuente: propia y análisis de LAMBDA en anexo 3

No obstante, al presenciar arena en el agua de muestra del filtro y tanque de almacenamiento y con las quejas de los usuarios por presencia de color y arena en el agua que consumen, es posible obtener esos resultados tan elevados, además durante el mes de noviembre, momento de la toma de muestras en época lluviosa, se observa un incremento en sólidos y por lo tanto de un aumento en la turbiedad en el agua.

³ Se realizó cinco mediciones para turbiedad en mismo día de la toma de muestra en cada lugar.

Es necesario que se lleve un control periódico de los niveles de turbiedad del agua que ingresa al filtro y del agua que sale del tanque de almacenamiento, para esto se insta a adquirir un turbidímetro, y que se brinde capacitación a los funcionarios para su correcto uso. Como anteriormente se mencionó, la arena del filtro no se ha cambiado desde su construcción ni se ha dado la limpieza que requiere, lo que genera presencia de color y arena en la red de distribución especialmente durante temporada de lluvia.

Se decide realizar nuevamente un análisis de turbiedad en el agua del filtro y tanque de almacenamiento, pero esta vez en el mes de febrero del año 2014, época de verano en Costa Rica, para comparar cómo afecta los niveles de turbiedad en las dos temporadas (seca y lluvia) en la filtración. Según los resultados obtenidos en el Cuadro IV, la turbiedad en el filtro se encontró en 0.44 UNT y para el agua del tanque de almacenamiento a 0.76 UNT, está vez cumplen con el Reglamento de Calidad de Agua Potable.

Además, según Cerdas, en el mes de enero se han seguido las recomendaciones generadas en esta investigación durante las visitas al acueducto: limpiar la arena, remover la capa de lodo que se origina en el filtro, mantener el ornato y aseo; lo que ha originado un cambio en el estado del funcionamiento del filtro como se muestra en la Figura 14. En la fotografía (a) se observa el agua del filtro en el mes de noviembre 2013, nótese la tonalidad café, mientras en la Figura 14 b. el agua en el filtro en el mes de febrero 2014 se observa translúcida.



(a)



(b)

Figura 14. (a) Agua del filtro mes de noviembre 2013. (b) Agua del filtro mes de febrero 2014.

5.3 Alternativas para el diseño de la tubería de conducción desde las posibles fuentes de abastecimiento seleccionadas hasta el tanque quiebra gradiente de la ASADA.

Escenario 1. Solicitud de información sobre nacientes cercanas a San Isidro en el año 2013.

Para la elaboración de las alternativas del diseño de la tubería de conducción, se contactó al SENARA y al SINAC para conocer la ubicación en coordenadas de las nacientes, el uso que se les da y así como el caudal que presenta cada una. Algunas nacientes no poseen registros de caudales, por lo que para la toma de decisiones no fueron consideradas. En el Anexo 2 se especifican las nacientes de la zona.

Aspectos que se tomaron en cuenta para elegir las nacientes:

- Cercanía con el tanque quiebra gradiente, esto para disminuir el recorrido de la tubería de conducción y así ahorrar costos de construcción.
- Facilidad de transportar el agua por gravedad; es decir, que las curvas de elevación vayan disminuyendo con el recorrido, para evitar sistemas de bombeos que requieran energía y que elevaran el costo de operación.
- El caudal máximo diario sea suficiente para abastecer en temporada seca a la comunidad de San Isidro, por lo que se consideraron aquellas nacientes con caudales mayores a 5 L/s, debido a que el caudal en temporada seca en las captaciones se mantiene en 7 L/s y el máximo que requieren es de 13 L/s.
- Evitar el paso de la tubería por poblados y carreteras, esto con el fin de disminuir la dificultad de los trabajos de instalación, así como posibles fugas por accidentes de terceros.

Ante estas consideraciones, finalmente se eligieron las nacientes: NAC-2228 con un aforo de 5,13 L/s y la NAC-2257 con un aforo de 38,5 L/s (Anexo 2). Las cuales cumplieron con los aspectos requeridos. En la Figura 15, se puede observar la ubicación de las nacientes con respecto al tanque quiebra gradiente.

Una vez elegidas las nacientes apropiadas para ser utilizadas por la ASADA en temporada seca, se trasladaron los puntos de ArcGIS a CivilCAD, donde se obtuvo la triangulación de distintos puntos a diferentes alturas, para conseguir una interpolación de elevaciones y así realizar los perfiles y plantas de las tuberías de conducción.

Con la altura en cada trazo, se procedió a realizar el trayecto de los perfiles seleccionados. En la figura 16, se observa el perfil 1 que va desde la naciente 1 hasta el tanque quiebra gradiente; las curvas de nivel del terreno ayudan a que el recorrido del agua sea por gravedad, debido a la presión dada por la diferencia de elevación.



Figura 15. Ubicación de las nacientes 1 y 2 seleccionadas (nac-2257 con un aforo de 38,5 L/s nac-2228 con un aforo de 5,13 L/s, respectivamente), el tanque quiebra gradiente donde se transportó el agua, toma El Cubano y la PTAP de la ASADA. Fuente: Go US Dept of State eographer ©2013 Google.

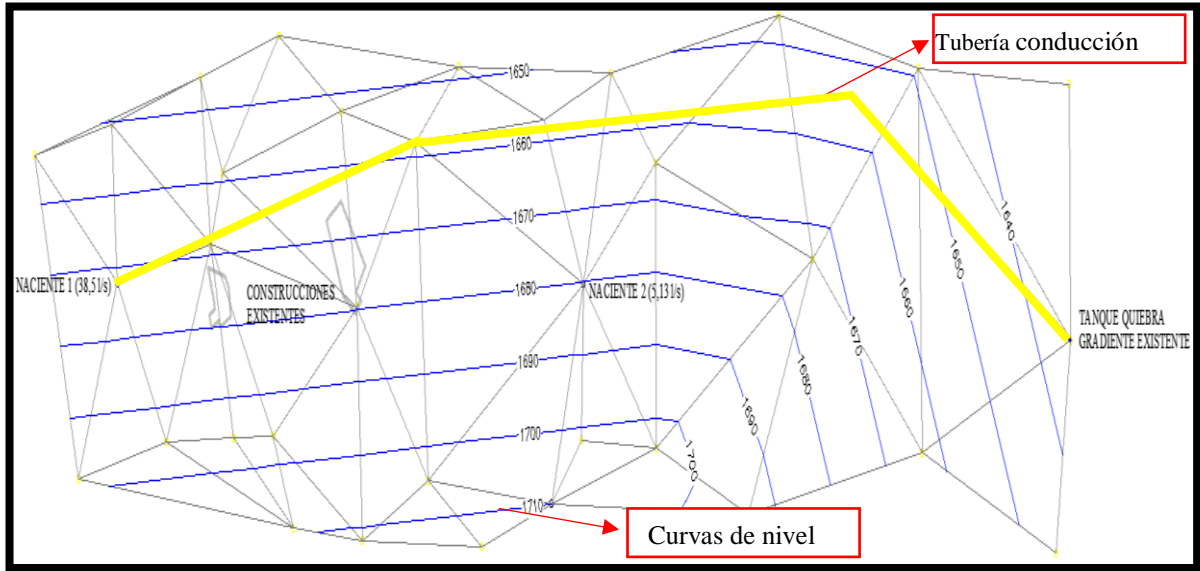


Figura 16. Planta del perfil 1 de la tubería de conducción, 2013.

Fuente: CivilCAD

El trayecto de la tubería de la naciente 2 se muestra en la Figura 17, si se deseara considerar el transporte del agua sigue siendo por gravedad, ya que está localizada a una altura de 1680 m y la tubería de conducción se encuentra aproximadamente a 1658 m, por lo que se encuentra en declive, favoreciendo la presión del agua.

Como se puede prestar atención en la Figura 18, la tubería de conducción debe ir enterrada para favorecer el transporte del agua y evitar accidentes por ruptura, en casi todo el recorrido sigue el nivel del terreno; no obstante, en una parte se tuvo que omitir porque no beneficiaba la conducción por gravedad, ya que se presenta una elevación, para este caso debe ir más enterrada.

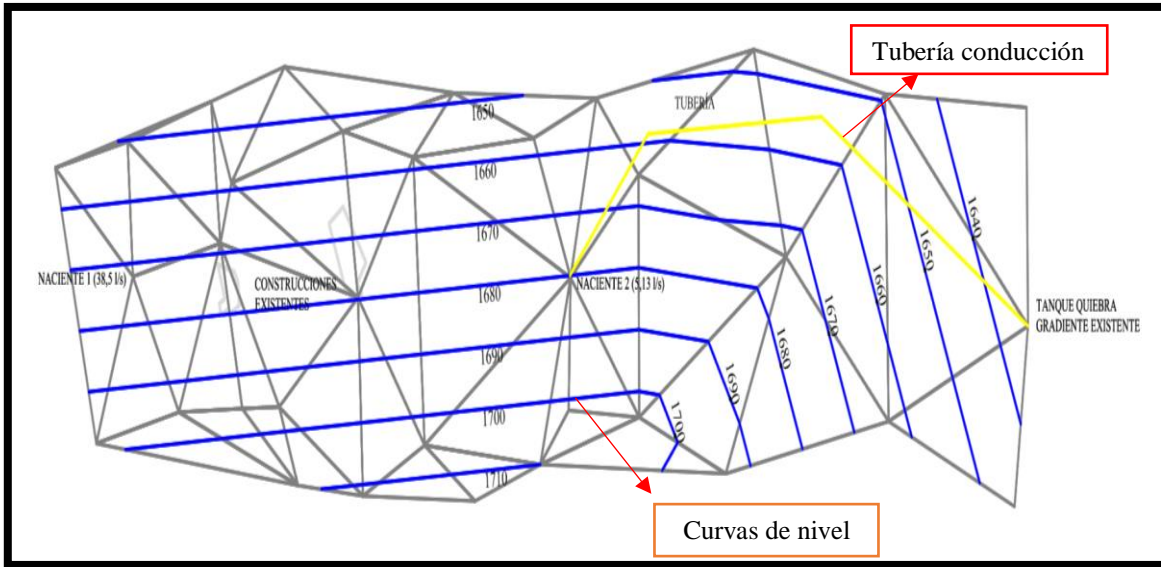


Figura 17. Planta del perfil 2 de la tubería de conducción, 2013.

Fuente: CivilCAD

Se debe considerar que para el perfil de la tubería se utilizó tres puntos conocidos (dos nacientes y tanque quiebra gradiente) con sus respectivas coordenadas y alturas, pero en el trayecto de la red de conducción se basó en curvas de nivel e imágenes áreas de Google Earth 2013, como se muestra en la Figura 19. Por lo que ya en la práctica se puede encontrar con otras circunstancias para beneficio o dificultad de la instalación. Se recomienda hacer un estudio topográfico previo al diseño final de la conducción.

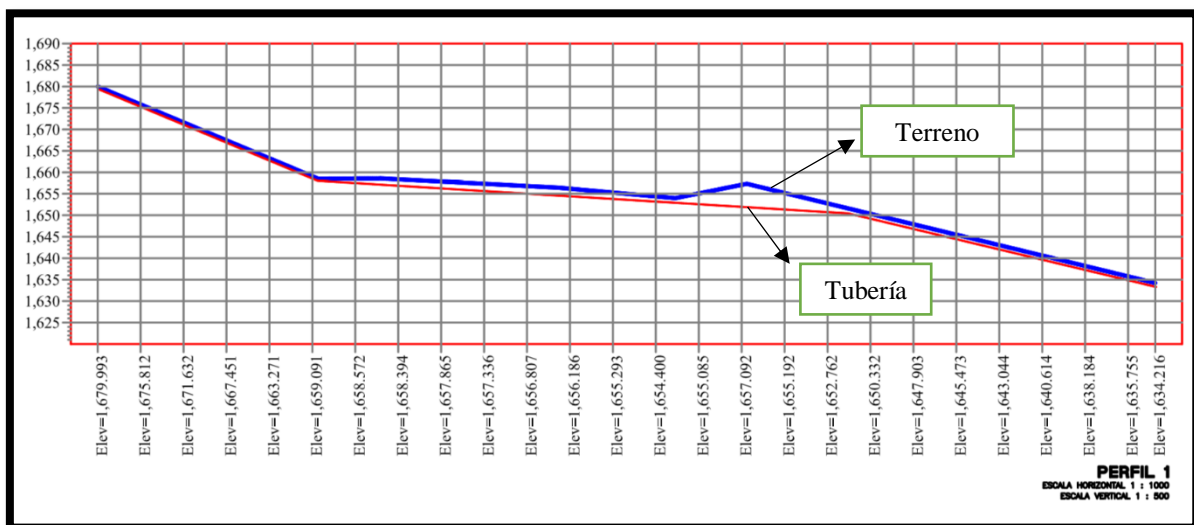


Figura 18. Tubería de conducción del perfil 1

Fuente: CivilCAD

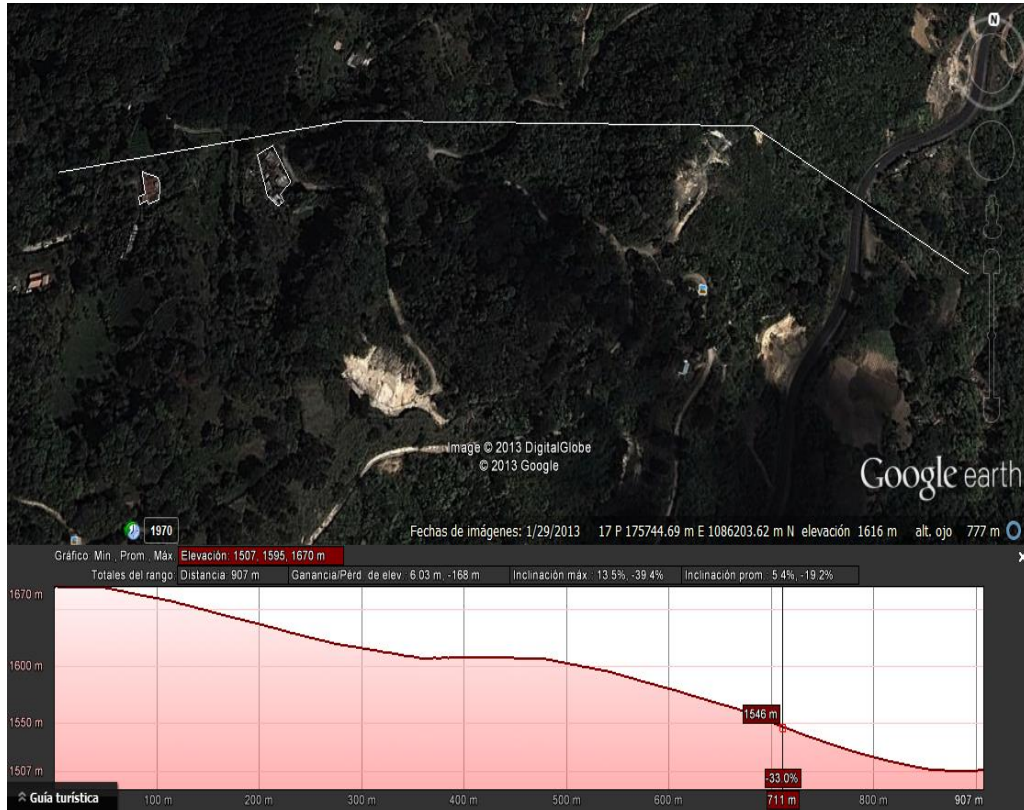


Figura 19. Imagen área de la tubería de conducción 1 y el perfil del terreno en Google Earth.

Fuente: US Dept of State Geographer ©2013 Google

Analizando el trazo del perfil en la Figura 18, se recomienda utilizar piezas especiales como codos de 45° y tres válvulas de paso. Las tuberías utilizadas en los sistemas de agua potable, los materiales de mayor uso son: Fierro Galvanizado, fibrocemento, concreto preesforzado, PVC. La ASADA trabaja con PVC sus tuberías, por tal motivo se definió este material para emplearlo en la fórmula de H-Williams que permite ser aprovechada para cualquier tipo de conducto y material.

Las ventajas del cloruro de polivinilo (PVC) son: su resistencia a la corrosión, resistencia a la electrólisis (por lo que permite ser enterradas), paredes lisas (se reduce la pérdida de energía por fricción), resistencia mecánica (soportan altas presiones), el peso, su rigidez, es inodoro, insaboro, no combustible y no tóxico (Rodríguez, 2005).

En CivilCAD se puede adquirir los cálculos sobre métodos de análisis hidráulicos. Para efectos de diseño de la tubería de conducción se basó en la fórmula de Hazen – Williams. El coeficiente H-Williams para tipo de tuberías PVC es de 150.

Las velocidades obtenidas utilizando la fórmula de H-Williams se presentan en el Cuadro IV, se encuentran por debajo de 3,0 m/s, que es lo que se recomienda, ya que se sugiere fijar valores de las velocidades del flujo en los conductos en un rango (velocidad mínima = 0,4 m/s y velocidad máxima = 3,0 m/s) para evitar erosión interna o sedimentación en las tuberías y golpes de arietes (Mott, 2006).

Para efectos del proyecto, el caudal que ingresa a la tubería es el mismo a la llegada al tanque quiebra gradiente, por lo que solamente se verá influenciado por la pérdida de carga en la longitud de cada tramo. Se decidió emplear un flujo de 13 litros por segundo, en la naciente 1, considerando el caudal máximo diario teórico que necesita el acueducto.

Se recomienda la instalación de válvulas de aire, para evitar su acumulación en los puntos altos, debido a que provoca la reducción del área del flujo del agua, produciendo un aumento de pérdida de carga y una disminución del gasto. Las cargas disponibles en valor positivo indican un exceso de energía gravitacional; quiere decir, que hay energía suficiente para mover el flujo.

Cuadro V. Resultado de la aplicación de H-Williams al perfil de las tuberías de conducción propuestas

Tramo de	a	Longitud (m)	Diámetro interno (m)	Coef. H- Williams	Gasto inicial (l/s)	Perdida carga tubería (m)	Velocidad (m/s)	Cota de t.n. (m)		Cota piezometrica (m)		Carga disponible (m)	
								Inicial	Final	inicial	final	inicial	final
Naciente 1													
1	2	277,039	0,1016	150	13	6,092	1,605	1671,15	1657,48	1671,15	1665,06	0,000	7,577
2	3	257,197	0,1016	150	13	5,656	1,605	1657,48	1659,09	1665,06	1659,40	7,577	0,309
3	4	134,389	0,1016	150	13	2,955	1,605	1659,09	1655,93	1659,4	1656,45	0,309	0,515
4	5	72,465	0,1016	150	13	1,594	1,605	1655,93	1651,93	1656,45	1654,85	0,515	2,928
5	6	154,691	0,1016	150	13	3,402	1,605	1651,93	1646,88	1654,85	1651,45	2,028	4,573
Naciente 2													
1	2	110,179	0,1016	150	5	0,413	0,618	1679,26	1658,02	1679,26	1678,85	0,000	20,83
2	3	247,601	0,1016	150	5	0,929	0,618	1658,02	1650,43	1678,85	1677,92	20,827	27,49
3	4	147,413	0,1016	150	5	0,553	0,618	1650,43	1633,31	1677,92	1677,37	27,488	44,06

Escenario 2. Investigación en campo de las nacientes propuestas para fuentes de abastecimiento en el acueducto San Isidro.

Ya una vez realizado los perfiles de tubería de conducción propuestos en el apartado anterior, se decide visitar las nacientes en el mes de febrero 2014, para verificar que la información suministrada por el SENARA haya sido correcta y que efectivamente las nacientes cuenten con los aforos reportados.

El SINAC estuvo presente en la visita, además nos acompañó el señor Gerardo Cerdas y Don Jaco⁴ como representantes del acueducto. Una vez en el lugar se comprobó que una de las nacientes registrada con aforo de 38,5 L/s, realmente tiene un aforo de 0,36 L/s y la otra naciente es intermitente (se mantiene sin agua en época seca y posee agua en época lluviosa), por lo que no nos funciona para el abastecimiento en verano.

El dueño de la propiedad utiliza la naciente con aforo 0,36 L/s desde ahora llamada naciente El Gringo. Por lo que se le recomendó al acueducto; visitar la Dirección de Aguas del MINAE, realizar el trámite de concesión y adquirir la inscripción de esa naciente a fin de que sea utilizada por el acueducto de San Isidro. Para ello debe negociarse con el dueño de la propiedad; ya que él también necesita usar parte del agua para abastecimiento propio y para 14 casas ubicadas en la propiedad.

5.4 Diseño para el tanque de almacenamiento.

5.4.1 Diseño teórico del volumen del tanque de almacenamiento

Para este apartado, se determinó el caudal máximo diario que necesitará la ASADA para dotar a la población por 20 años y la dimensión del tanque de almacenamiento para asegurar el suministro a toda la comunidad. Y la importancia de aplicar la Ley de Hidrantes como requisito que solicita el Benemérito Cuerpo de Bomberos.

⁴ Don Jaco es fontanero pensionado de la ASADA San Isidro, conoce al dueño de la propiedad.

Para determinar las dimensiones del tanque de almacenamiento, se realizó una serie de cálculos para conocer la cantidad de agua que requiere la ASADA. Para eso se tuvo que obtener la población futura a abastecer a 20 años, utilizando la ecuación 3 y el Cuadro VI.

Cuadro VI. Censos realizados por el INEC en el distrito de San Isidro, de El Guarco en Cartago. Años 2000 y 2011

Año	2000	2011
Población en San Isidro	9 165	9 828

Fuente: INEC, <http://www.inec.go.cr/Web/Home/pagPrincipal.aspx#>

Aplicando la fórmula del método geométrico se obtiene una constante de crecimiento poblacional (i) de 0,64 %. Conociendo la población actual que abastece el acueducto de 3 300 personas, se puede calcular la población futura, dando como resultado 3 747 habitantes.

Luego se procedió a realizar el cálculo de los caudales de diseño, para conocer el volumen del tanque de almacenamiento que necesita el acueducto para poder abastecer a una población futura de 3747 habitantes.

Para obtener el caudal medio diario se eligió una dotación de 200 L/s por persona, aplicando la ecuación 5 da como resultado 8, 67 L/s. Luego, con un factor de ampliación K_1 de 1,5 veces el caudal medio diario, el caudal máximo diario da como resultado 13 L/s. Una vez obtenido el valor del caudal máximo diario, se determinó el volumen que requiere el tanque de almacenamiento.

Para definir el volumen final del tanque de almacenamiento se debe conocer el volumen de regulación, el volumen de reserva y el volumen contra incendios. El que dé mayor entre ellos tres se escoge para la construcción del tanque de almacenamiento.

Para sistemas por gravedad, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15% a 30% del consumo máximo diario y tiempo de retención de un día mínimo. Dando un volumen requerido de 337 m^3 (ecuación 8).

El volumen de reserva prevé el abastecimiento durante las interrupciones accidentales de funcionamiento de los componentes del sistema situados antes del tanque de almacenamiento o durante períodos de reparaciones y mantenimiento de obras de

captación, conducción, tratamiento, realizando el cálculo con la ecuación 9, da un volumen de 187 m^3 .

Se debe tener en cuenta, según el artículo 2 del reglamento a la Ley del Hidrante 8641, la ASADA es responsable del desarrollo de la red para hidrantes, por esta razón, se debe poseer el caudal adecuado para el correcto funcionamiento de los hidrantes. A pesar que ya tienen a cargo varios hidrantes, se les aporta el volumen contra incendios del tanque de almacenamiento para que lo consideren en la práctica.

Para poblaciones menores a 10.000 habitantes y con densidades menores o iguales a 100 hab/hectárea, el caudal contra incendios podrá considerarse hasta un máximo de 10 L/s a la salida del tanque y en la red principal con hidrantes (Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia, 2005). El volumen contra incendios empleando la ecuación 10 para la ASADA es de 72 m^3 .

Por lo que el volumen de almacenamiento final será el volumen mayor, es decir, al volumen de regulación. Conociendo que el volumen actual del tanque de almacenamiento es de 140 m^3 y que el que se requiere es de 337 m^3 , hace falta obtener un volumen de 197 m^3 , para completar el acaparamiento según el caudal máximo diario.

5.4.2 Diseño experimental del volumen del tanque de almacenamiento.

Se realizó mediciones de variación de volumen en el tanque de almacenamiento por un periodo de 12 horas continuas, con esto se conoce el caudal acumulado por hora y con la ecuación de la recta se obtiene el volumen que se requiere construir.

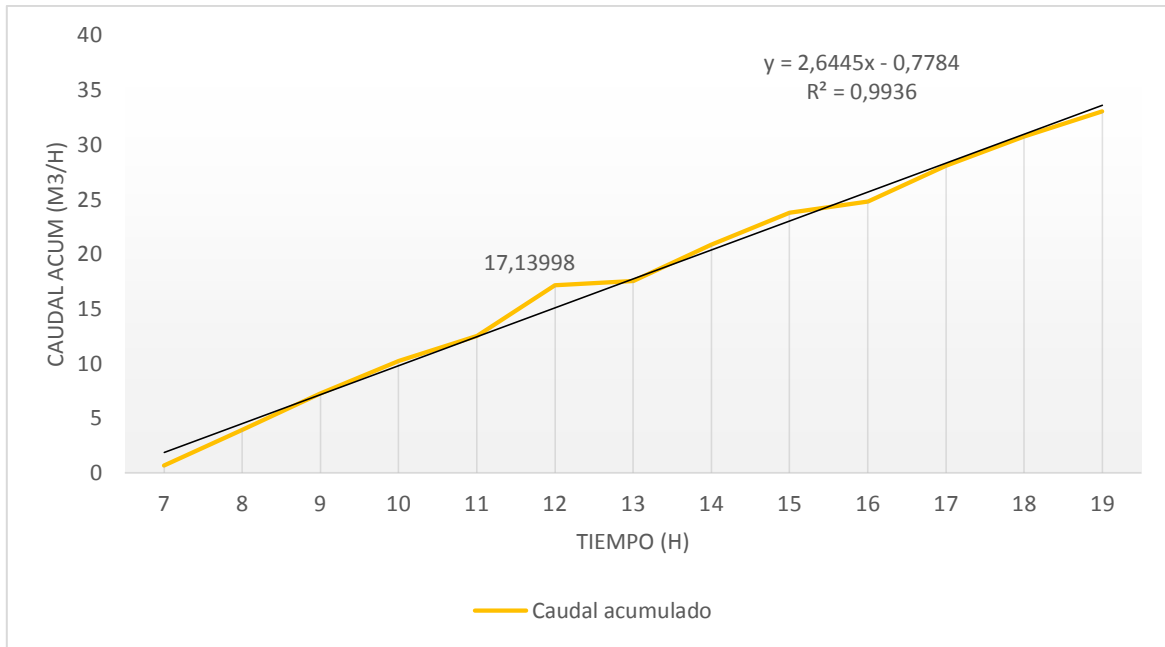


Figura 20. Ecuación de la recta para determinar el volumen del tanque de almacenamiento.

Según la Figura 20, se utiliza el punto más alejado de la línea de tendencia (color negra), en este caso es el par ordenado (12, 17.13990), por lo que sustituyendo la equis en la ecuación de la recta da como resultado un volumen de 30.955 m^3 , al restar el volumen registrado por el volumen obtenido se obtiene un volumen final del tanque de almacenamiento es de $13,85 \text{ m}^3$, como se muestra a continuación:

$$y = 2.6445(12) - 0.7784 = 30.955$$

$$Vol \text{ final} = 30.955 - 17.13998 = 13.85 \text{ m}^3$$

Si se compara con el volumen teórico de 197 m^3 al volumen experimental de $13,85 \text{ m}^3$ es bastante la diferencia. Un factor importante para determinar el volumen de un tanque de almacenamiento, es el comportamiento del uso del agua por las personas. La ASADA San Isidro durante el mes de diciembre 2013, empezó a registrar el consumo de sus usuarios por m^3/mes para cobrarles por lo que gastan. Desde ese momento las personas han reducido la utilización del líquido y el tanque de almacenamiento actual se mantiene lleno, lo que hace

pensar que efectivamente, el déficit en el volumen es pequeño. Se recomienda hacer este tipo de mediciones por un periodo mayor de tiempo.

Sin embargo, de los análisis realizados se deduce que se requieren 13,85 m³ adicionales al volumen de regulación, y que es necesario considerar un volumen adicional para control de incendios, accidentes, etc. Por lo tanto la selección de un tanque con el volumen mayor está siempre del lado de la seguridad para los usuarios.

5.5 Soluciones al déficit de agua.

Al no contar con más nacientes con suficiente agua cercanas a la comunidad de San Isidro, y la urgencia del líquido para abastecer a la comunidad; se decide brindar dos posibles soluciones a largo plazo, para asegurar el suministro a la comunidad actualmente y para un periodo de 20 años.

5.5.1 Toma desde un río caudaloso.

El río se localiza en la región de La Cangreja en las coordenadas 9°47' Latitud Norte y 83°57' Longitud Oeste, es bastante caudaloso. Se requiere de un sistema de bombeo debido a su ubicación, ya que está en la parte baja respecto a las captaciones actuales del acueducto de San Isidro.

Al ser una fuente superficial es necesario realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos para conocer la calidad de su afluente y realizar el tratamiento según a sus características. Se debe tener en cuenta que un sistema de bombeo requiere altos costos de energía para su operación.

Al existir un déficit alrededor de 4,23 L/s para abastecer a la comunidad en época de verano, se recomienda captar esa cantidad del río y transportarlo por bombeo hasta un punto más alto y que permita dirigir el agua por gravedad hasta el tanque quiebra gradiente.

Un sistema de bombeo consta de una caseta de bombeo, con un tanque de captación, al menos dos bombas en paralelo, una principal y una auxiliar en caso que la principal de dañe. Se recomienda una bomba de combustible (diésel) en caso de emergencia por la falta

de electricidad. También una tubería de impulsión, un tanque regulador en la parte más alta y una tubería de conducción de 3 pulgadas para dirigir el agua hasta el tanque quiebra gradiente.

5.5.2 Embalse o laguna de retención.

Otra solución es la construcción de un embalse, que durante cuatro meses de época de lluvia sirva para almacenar agua suficiente para sobrellevar la demanda en los meses de diciembre hasta abril, meses donde se presencia la escasez de agua.

Para llevar a cabo un embalse, se requiere de un terreno bastante amplio para su construcción. Además de maquinaria de movimiento de tierra, conformación de taludes, compactación, impermeabilización de taludes y piso. También un control perimetral de agua de lluvia y control perimetral de seguridad para impedir el ingreso de animales y personas. Tuberías de entrada y salida con válvulas reguladoras.

Para los meses de época seca se cuenta en las captaciones actuales del acueducto El Cubano, Casa Blanca #1 y Casa Blanca #2 un caudal total de 8,77 L/s. Considerando que para abastecer la comunidad actual se necesita 11,46 L/s y para una proyección a 20 años la demanda pasará alrededor de 13 L/s, esto refleja que realmente existe un déficit de agua en verano.

En temporada de lluvia ingresa a la planta de tratamiento aproximadamente 16 L/s y considerando que hace falta un caudal de 4,23 L/s para llegar al caudal máximo diario de 13 L/s en el verano; se propone desviar 4,23 L/s en época lluviosa durante 4 meses al embalse. Para esto se requiere construir una laguna de retención con capacidad de 43 856 m³ de volumen. Con 3 metros de altura, 121 metros de ancho y 121 metros de largo.

CAPITULO VI- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Durante los meses de diciembre a abril se presenta una disminución en la precipitación, que afecta las condiciones del caudal de las quebradas, como se muestra en el balance hídrico, lo cual indica un déficit de agua en verano.

Debido a la disminución de caudal en temporada seca en las quebradas Casa Blanca #1 y El Cubano, pertenecientes a la ASADA San Isidro, se localizan dos nacientes; según la base de datos del SENARA, como posibles fuentes de agua para suministrar al acueducto.

La estructura de la planta de tratamiento tiene más de 17 años de construida, por lo que su deterioro es notable. Siendo el filtro lento el de mayor importancia, su deficiencia en la remoción de turbiedad en época de lluvia es notoria, ya que no alcanza reducir los niveles de turbiedad presentes en el agua hasta lo aceptado por la normativa nacional.

La dosificación del cloro en el tanque de almacenamiento asegura que se presente cloro residual libre en la tubería de distribución hasta la última conexión de la red. No obstante la manera de diluir las pastillas de cloro es incorrecta, ya que utilizan el agua directamente desde las captaciones sin ningún tratamiento y no se asegura la efectividad de desinfección del cloro.

Al analizar el comportamiento de los usuarios del acueducto con micro-medición y sin micro-medición, se concluye que las personas ahorran el agua con micro-medición ya que se les cobra en función de su consumo, hecho que ha provocado que el volumen en el tanque de almacenamiento se mantenga constante con suficiente agua; caso contrario a la situación analizada en octubre, cuando en la comunidad había micro-medición, lo que fomentaba el desperdicio y la escasez de agua en el tanque de almacenamiento y por ende la suspensión del servicio del agua.

Con las mediciones de variación de volumen en el tanque de almacenamiento de la ASADA San Isidro, se obtiene 13,85 m³ adicionales al volumen de regulación; pero además, se requiere un volumen de reserva y un volumen de agua en caso de incendios; además se debe considerar el aumento de la población de la comunidad, por lo tanto, para

brindar mayor seguridad de suministro de agua es preferible la construcción de un tanque de almacenamiento con mayor volumen, en este caso el volumen teórico de 197 m³.

La ubicación geográfica de la naciente en la propiedad El Gringo, es ideal para transportar el agua por gravedad hasta el tanque quiebra gradiente. Su cercanía al tanque reduce costos de tubería y permite aprovechar la estructura existente. Pero en época de verano esta naciente no tiene agua. Por lo que esta solución no es técnicamente viable.

Se deben realizar análisis fisicoquímicos al agua del río para obtener sus características y así conocer si funciona para consumo humano. Siendo adecuada el agua, se debe utilizar sistema de bombeo para el transporte del líquido hasta el tanque quiebra gradiente u otra estructura del acueducto, ya que el río se encuentra en una parte baja con referencia a los tanques de la ASADA. El costo de operación de un sistema de bombeo es elevado por lo que se tiene que realizar estudios de factibilidad previos para conocer si es una elección viable.

La construcción de un embalse o laguna de retención en el caso del acueducto de San Isidro, es una solución a largo plazo, no obstante; se debe localizar un terreno extenso donde se pueda construir el embalse con las dimensiones requeridas para el almacenamiento de 43 856 m³ de agua durante 4 meses de época lluviosa.

6.2 Recomendaciones

En la captación de la naciente Casa Blanca #2, se recomienda sustituir la tapa de vidrio por una tapa de concreto o metal, para asegurar su aislamiento y protegerla del ingreso de animales e insectos grandes o de ser víctima de una actividad criminal por partes de terceros.

Arreglar las fugas que se presentan en las tuberías que llegan al tanque de reunión El Cubano, pues a la larga es considerable el desperdicio que se genera. También, colocar válvulas de paso a cada tubería que ingresa al tanque para facilitar el mantenimiento de limpieza.

Se aconseja construir un desarenador cerca al tanque quiebra gradiente, con esto se puede retener la mayor parte de sólidos y prevenir averías en la línea de conducción.

Repellar y restaurar las estructuras para asegurar la vida útil del sistema de tratamiento de agua potable y cambiar las gradas de ingreso por su avanzada corrosión.

Uso de un turbidímetro para controlar la turbiedad que ingresa y sale a la planta de tratamiento, así como capacitar al personal para su adecuado uso.

Realizar cada semana la limpieza manual de la arena del filtro para eliminar los sólidos retenidos en ella, además se recomienda secar al sol la arena, para esto se debe acondicionar un lugar para su disposición y así mejorar la limpieza y asegurar una remoción de turbiedad adecuadamente.

Se recomienda la construcción de otros dos filtros lentos en paralelo para hacer más fácil la limpieza o mantenimiento, con capacidad de 5 L/s cada uno, ya que el existente no da abasto para tratar el caudal de entrada en especial en época de lluvia.

También es ideal que verifiquen el estado actual de la arena que posee el filtro para conocer si puede seguir su funcionamiento o si ya se requiere un cambio de arena para continuar con el tratamiento.

Adecuar el sistema de cloración, actualmente el agua que disuelve las pastillas está sin tratamiento previo; es decir, directamente desde las captaciones, lo correcto es utilizar el agua después del filtro para asegurar la efectividad del cloro.

Se recomienda realizar monitorios todos los días en la dosificación de cloro y hacer análisis de cloro residual en la salida de la planta y tubería de distribución para asegurar que la dosificación del desinfectante es correcta.

Elaborar un manual de operación y mantenimiento, adecuado según los requerimientos de la planta de tratamiento para llevar un registro y este quede documentado en caso de cambio de personal.

En el tanque de almacenamiento se debe arreglar las válvulas de paso, por la presencia de fugas que posee. También, la salida del agua por la tubería de distribución debe ser colocada al menos más arriba de la mitad del tanque, ya que donde se ubica arrastra los sólidos sedimentables presentes en el fondo.

Se recomienda realizar análisis de parámetros fisicoquímicos como microbiológicos al agua de la o las nacientes seleccionadas para conocer la calidad que poseen y así saber si es viable su uso para el abastecimiento a la comunidad.

Como la naciente El Gringo se encuentra en propiedad privada, es necesario llegar a un acuerdo con el dueño de la propiedad y a su vez, solicitar la concesión a la Dirección de Aguas del MINAE para hacer el uso de esa naciente. Aunque se debe considerar que el volumen de agua de esta no será suficiente para satisfacer las crecientes necesidades de la población.

Se recomienda realizar una investigación adicional que permita valorar el costo económico y técnico de llevar agua del río, por un sistema de bombeo hasta el tanque quiebra gradiente u otro punto de conducción.

Se recomienda hacer una investigación adicional para determinar factibilidad técnica, estudio de impacto ambiental y demás detalle que determinen si la construcción de un embalse es la única solución técnicamente viable.

Realizar simulacros en conjunto con el Cuerpo de Bomberos para verificar el estado de los hidrantes actuales, ya que la Ley de Hidrantes solicita a los encargados del abastecimiento a las comunidades colocar números de hidrantes necesarios en lugares específicos y que estos posean la cantidad de agua que se requiere en caso de una emergencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIARSE. (2009). *Alianzas para el desarrollo: Motro de la responsabilidad social. Casos de organizaciones públicas y privadas en Costa Rica*. 1° edición.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera edición. Tomo1. Colombia: EDITORIA NOMOS.
- Asamblea Legislativa. (1996). *Ley Forestal 7575*. San José, Costa Rica.
- Brière, F. (2005). *Distribución de agua potable y colecta de desague y de agua de lluvia*. Francia: Presses Internationales Polytechnique.
- Comisión Nacional de Emergencia (CNE). (2006). *Amenazas naturales cantón de El Guarco*. Costa Rica.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). (2008). *El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Contraloría General de la República. (2013). *Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos. Informe N°. DFOE-AE-IF-01-2013*. División de fiscalización operativa y evaluativa. Área de Servicios Ambientales y de Energía. Costa Rica.
- Corcho, F. & Duque, J. (2005). *Acueductos teoría y diseño*. Tercera edición. Colombia: Sello Editorial Universidad de Medellín.
- ESRI. (2013). *ArcGIS Resources*. Recuperado <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>.
- Equipo de Gestión Local del Plan de Desarrollo Humano del Cantón El Guarco. (2009). *Plan de Desarrollo Humano Local 2010-2020, Cantón El Guarco*. Cartago, Costa Rica.

- Fallas, J. (2010). *Intervenciones basadas en la planificación y gestión territorial de los riesgos del agua y del medio ambiente con enfoque de multiculturalidad y género en el municipio de El Guarco, Cartago, Costa Rica*. Guatemala.
- Henry, G. & Heinke, G. (1999). *Environmental Science and Engineering*. Segunda Edición. México: PRENTICE HALL.
- Ingenieros Consultores y Ejecutores de Acueductos S.A. (2012). *Estudio de evaluación y diseño, sistema de agua potable acueducto San Isidro de El Guarco*. Cartago. Costa Rica
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado. (2007). *Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos*. Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2013). *CENSO 2000 y CENSO 2011*. San José, Costa Rica.
- Jiménez, E. (2012). *Costa Rica da acceso al agua pero falla en el cuidado y tratamiento*. Recuperado de <http://www.crhoy.com/costa-rica-da-acceso-al-agua-pero-falla-en-el-cuido-y-tratamiento/>.
- Jiménez, J. (2013). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- López, J., Rodríguez, L. (2010). *Desarrollo sostenible, uso conjunto y gestión integral de recursos hídricos*. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante. Diputación Provincial de Alicante. España.
- Martínez, H. (2008). *CivilCAD Manual de usuario*. Tijuana, México: ARQCOM.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2013). Dirección de Aguas. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.minae.go.cr/>.

- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014* María Teresa Obregón Zamora. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Salud, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Organización Panamericana de la Salud y Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. (2004). *Calidad del agua potable en Costa Rica. Situación actual y perspectivas*. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Servicios y Obras Públicas de la República de Bolivia. (2005). *Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10 000 habitantes*. La Paz. Bolivia: Editorial GENESIS.
- Montero, V. (2010). *Determinación de la bacteria Helicobacter pylori en abastecimientos de agua para consumo humano, y su implicación en el manejo del agua en Costa Rica*. Costa Rica.
- Mora, D. (2009). *Agua*. San José. Costa Rica: Editorial EUNED.
- Mora, D., Mata, A. & Portuguese, C. (2012). *Agua para consumo y saneamiento: Situación en Costa Rica en el contexto de las Américas: 1961-2011*. Costa Rica: cgvl 0Laboratorio Nacional de Aguas.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Sexta edición. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- National Environmental Services Center. (2009). *Tecnología en Breve Filtración Lenta con Arena*. Virginia, Estados Unidos.
- Pérez, F., Urrea, M. (2011). *Abastecimiento de aguas. Tema 10: Desinfección*. Universidad Politécnica de Cartagena. España.
- Plan Regulador de El Guarco. (2007). PRUGAM.
- Poder Ejecutivo. (1961). *Ley Constitutiva del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados No.2726*. San José.

- Poder Ejecutivo. (2005). *Reglamento para la Calidad de Agua Potable*. La Gaceta N° 84 del martes 03 de mayo del 2005.
- Programa de Gestión Integrada del Recurso Hídrico CEDARENA. (2012) *Situación actual el agua*. Recuperado de <http://hidrico.sociedadhumana.com/indice.php/27>.
- Programa Estado de la Nación. (2011). Decimosétimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.
- Programa Estado de la Nación. (2012). Decimoctavo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.
- Rodríguez, H. (2005). *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (1999). *Potabilización del agua*. Tercera edición. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Subgerencia Gestión Sistemas Comunales (SGSC). (2010). *Sistemas Comunales en Acción. Boletín N° 15. El agua potable es indispensable para la salud humana y el desarrollo de las comunidades*. Costa Rica.
- Varó. P & Segura. M. (2009). *Curso de manipulación de agua de consumo humano*. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig.
- Villón, M. (2012). *HIDROESTA 2 Cálculos Hidrológicos. Manual del Usuario*. Lima, Perú: Ediciones Villón.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO 1 - Parámetros de calidad de agua en Costa Rica según el Reglamento de calidad de agua potable (Poder Ejecutivo, 2005),

**CUADRO 1. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- PRIMER NIVEL DE CONTROL - N1**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliforme fecal	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
<u>Escherichia coli</u> ^a	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
Color aparente	mg/L (U - Pt-Co)	5	15 ²
Turbiedad	UNT	<1	5 ²
Olor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Temperatura	°C	18	30
pH ^c	Valor pH	6,5	8,5
Conductividad	μS/cm	400	
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro Residual Combinado	mg/L	1,0	1,8

-
- a) El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la *Escherichia coli*
 - b) VMA en no más del 10% de las muestras analizadas durante el año
 - c) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos o en los utensilios domésticos, utilizados para calentar o hervir el agua

CUADRO 2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- SEGUNDO NIVEL DE CONTROL - N2

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	400	500
Cloruro	mg/L Cl ⁻	25	250
Fluoruro	mg/L F ⁻		0,7 a 1,5 ^a
Nitrato	mg/L NO ₃ ⁻	25	50
Sulfato	mg/L SO 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		3,0
Cobre	mg/L Cu	1,0	2,0
Plomo	mg/L Pb		0,01

a) 1,5 mg/L para temperaturas de 8 a 12 °C y 0,7 mg/L para temperaturas de 25 a 30 °C

**CUADRO 3. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
-TERCER NIVEL DE CONTROL- N3**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Nitrito	mg/L NO ₂ ⁻		0,1 o 3,0 ^a
Amonio	mg/L NH ₄ ⁺	0,05	0,5
Arsénico	mg/L As		0,01
Cadmio	mg/L Cd		0,003
Cromo	mg/L Cr		0,05
Mercurio	mg/L Hg		0,001
Níquel	mg/L Ni		0,02
Antimonio	mg/L Sb		0,005
Selenio	mg/L Se		0,01

^a — VMA de 0.1, si el nitrito se evalúa en forma independiente del nitrato.

— VMA de 3.0, cuando el nitrito se evalúa en conjunto con el nitrato. En este caso, la suma de la razón de concentración de cada uno respecto a su valor máximo admisible no debe ser superior a 1,0.

$$\frac{[NO_3]^{-1}}{V.M.A.NO_3^{-1}} + \frac{[NO_2]^{-1}}{V.M.A.NO_2^{-1}} \leq 1$$

Nota: V.M.A. = Valor Máximo Admisible.

**CUADRO 4. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA RESIDUOS
DE PLAGUICIDAS
-TERCER NIVEL DE CONTROL- N3**

Parámetro Ingrediente activo ISO, BSI, ANSI	Nombre Químico IUPAC	Valor Máximo Admisible µg/L
Alachlor	2-cloro-2,6-dietil-N-(metoximetil)acetanilida	20
Aldicarb	2-metil-2-(metiltio)propionaldehído-O-(metilcarbamoil) oxima.	10
Aldrin/dieldrin	(1R,4S,4aS,5S,8R,8aR)-1,2,3,4,10,10-hexacloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahidro-1,4:5,8-dimetanonaftaleno.	0,03
Atrazine	6-cloro-N ² -etil-N ⁴ -isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina.	2
Bentazone	3-isopropil-1H-2,1,3-benzotiadiazin-4(3H)-ona-2,2-dióxido.	300
Carbofuran	2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranil-metil-carbamato.	7
Chlordane	1,2,4,5,6,7,8,8-octacloro-2,3,3 ^a ,4,7,7 ^a -hexahidro-4,7-metanoindeno.	0,2
2,4-D	Ácido-2,4-diclorofenoxiacético.	30

2,4-DB	Ácido-4-(2,4-diclorofenoxi)butírico.	90
DDTa	Dicloro-difenil-tricloroetano.	2
Dibromocloropropano	1,2-dibromo-3-cloropropano.	1
Dichloropropene	1,3-dicloropropeno.	20
Dichlorprop	Ácido (RS)-2-(2,4-diclorofenoxi)propiónico.	100
Heptachlor + epoxide	1,4,5,6,7,8,8-heptacloro-3a,4,7,7a-tetrahidro-4,7-metanoindeno.	0,03
Isoproturon	3-(4-isopropilfenil)-N',N'-dimetilurea	9
Lindane	Isómero gama de 1,2,3,4,5,6-hexacloro-ciclohexano	2
MCPA	Ácido (4-cloro-2-metilfenoxi)acético.	2
Methoxychlor	2,2-bis(p-metoxifenil)-1,1,1-tricloroetano.	20
Metolachlor	2-cloro-N-(2-etil-6-metilfenil)-N-(2-metoxi-1-metiletil) acetamida.	10
Molinate	S-etil hexahidro-1H-azepina-1-carbatiota	6
PCP	Pentaclorofenol	9
Pendiméthaline	N-(1-etilpropil)-3,4-dimetil-2,6-dinitobenzamina.	20

Permethrin	3-fenoxibenzil (1RS)-cis, trans-3-(2,2-diclorovinil)-2,2 dimetilciclopropanocarboxilato.	20
Propanil	N-(3,4-diclorofenil)propionamida.	20
Pyridate	O-(6-cloro-3-fenil-4-piridazin) S-octil carbono tiota.	100
Simazine	2-cloro-4,6-bis(etilamino)-s-triazina.	2
2,4,5-T	Ácido-2,4,5-triclorofenoxi-acético.	9
Trifluraline	α,α,α -Trifluoro-2,6-dinitro-N,N-dipropil-p-toluidina.	20

^a Corresponde a la suma de todos los isómeros.

CUADRO 5 PARÁMETROS DE CALIDAD PARA SUSTANCIAS ORGÁNICAS DE SIGNIFICADO PARA LA SALUD, EXCEPTO PLAGUICIDAS PARA EL CUARTO NIVEL: N4

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/L
Alcanos Clorados	
Tetracloruro de carbono	2
Diclorometano	20
1,2-dicloroetano	30
1,1,1-tricloroetano	2000
Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/L
Etenos Clorados	
Cloruro de Vinilo	5

1,1-dicloroeteno	30
1,2-dicloroeteno	50
Tricloroeteno	70
Tetracloroeteno	40
Hidrocarburos Aromáticos	
Tolueno	700
Xilenos	500
Etilbenceno	300
Estireno	20
Benzo-alfa-pireno	0,7
Bencenos Clorados	
Monoclorobenceno	300
1,2-diclorobenceno	1000
1,4-diclorobenceno	300
Triclorobencenos	20
Otros Compuestos Orgánicos	
di (2-etilhexil) adipato	80
di (2-etilhexil) ftalato	8

**CUADRO 6. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- CUARTO NIVEL - N4**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Sólidos totales			
disueltos	mg/L		1000
Amonio	mg/L NH ₄ ⁺	0,05	0,5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L H ₂ S		0,05

**CUADRO 7. PARÁMETROS PARA DESINFECTANTES Y SUBPRODUCTOS DE
LA DESINFECCIÓN
PARA EL CUARTO NIVEL: N4**

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/L
Desinfectantes	
Monocloramina	4000
Subproductos de la desinfección	
Bromato	25
Clorito	200
a- Clorofenoles	
2,4,6-triclorofenol	200
Formaldehido	900
b- Trihalometanos	
Bromoformo	100

Dibromoclorometano	100
Bromodiclorometano	60
Cloroformo	200

c- Ácidos Acético Clorados

Ác. Dicloroacético	50
ác. Tricloroacético	100
tricloroacetaldehído/cloralhidrato	100

d- Haloacetoniros

Dicloroacetoniros	90
Dibromoacetoniros	100
Tricloroacetoniros	11

e- Cloruro de cianógeno (como CN-)	70
---	----

ANEXO 2 – Nacientes cercanas al distrito de San Isidro, El Guarco.

Cuadro A.2.1. Localización de nacientes en el cuadrante latitud 539132 a 544371 N y longitud 197290 a 202452 O.

No. Naciente	Lambert Norte		Propietario	Caudal Prom (l/s)
	X	Y		
NAC-1486	542700	202000		0.03
NAC-1502	543100	202200		
NAC-1535	546870	207120		
NAC-1547	546100	205300		80
NAC-1553	549100	204400		1
NAC-1682	545800	202200		5
NAC-1778	549300	205700		12
NAC-553	539700	204800	MORALINA S.A.	0.13
NAC-575	542000	207000	AVICULA LA LIMA S.A.	
NAC-576	542300	207100	GOMEZ GOMEZ	1.85
NAC-577	539500	207100	HDA. LA LIMA S.A.	0.25
NAC-2219	540737	198179	Privada	
NAC-2220	540675	198167	Privada	
NAC-2221	540636	198185	Privada	
NAC-2222	540566	198237	Privada	
NAC-2223	540328	198435	Privada	
NAC-2224	540195	198470	Privada	
NAC-2225	540208	198542	Privada	
NAC-2226	541100	199147	Municipalidad	
NAC-2227	541459	199066	Privada	
NAC-2228	541282	199509	Privada	5.13
NAC-2229	541274	199918	Privada	
NAC-2257	540863	199246	Privada	38.5
NAC-2647	543023	198417	Privada	
NAC-2648	542774	198514	Privada	
NAC-2649	542595	198846	Privada	
NAC-2694	546897	200537	Privada	
NAC-2695	546899	200591	Privada	
NAC-2696	546911	200530	Privada	
NAC-2699	539839	198144	Privada	
NAC-2700	541572	199716	ASADAS	1.548
NAC-2701	540247	199547	ASADAS	
NAC-2702	540600	199518	ASADAS	0.798
NAC-2703	540316	200182	Privada	5.97
NAC-2704	540912	199912	ASADAS	0.321
NAC-2751	542678	198488	Privada	
NAC-2754	543067	198502	Privada	

Fuente: SENARA, 2013

ANEXO 3 – Análisis de agua de la ASADA San Isidro.



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica
e-mail: lambda@racsa.co.cr • www.laboratoriolambda.com

RESULTADO DE ANALISIS # 290,155

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 28 DE AGOSTO DE 2013.

SOLICITANTE: ASADA
SAN ISIDRO GUARCO CARTAGO.

ATENCION: Sr. ALEX SOLANO.



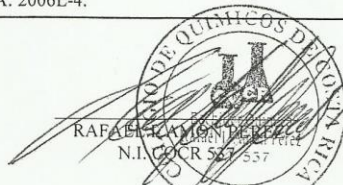
REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA CASA DE HABITACION, RECIBIDA POR EL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 26 DE AGOSTO DE 2013.

<u>ANALISIS:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>	<u>VALORES SEGUN DECRETO 32327-S</u>
pH*	6,42	8,5 max
TURBIDEZ*	0,65 NTU	1 NTU max
COLOR APARENTE*	3 CU	5 max
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	87 µS/cm	400 µS/cm
SOLIDOS TOTALES*	76 mg/L	---
SOLIDOS DISUELTOS*	76 mg/L	1000 mg/L max
SOLIDOS SUSPENDIDOS*	< 6 mg/L	---
ALCALINIDAD (FF expresada como CaCO ₃)*	< 1 mg/L	---
ALCALINIDAD TOTAL (RM expresada como CaCO ₃)*	51 mg/L	---
DUREZA TOTAL (expresada como CaCO ₃)*	47 mg/L	500 mg/L max
DUREZA DE CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)*	47 mg/L	---
DUREZA DE NO-CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)*	< 1 mg/L	---
CALCIO (Ca)*	12,3 mg/L	100 mg/L
MAGNESIO (Mg)*	4,0 mg/L	50 mg/L max
CLORUROS (Cl)*	3,5 mg/L	250 mg/L max
SULFATOS (SO ₄)*	1,5 mg/L	250 mg/L max
SILICE (SiO ₂)*	17,5 mg/L	---
AMONIO (NH ₄)**	0,17 mg/L	0,50 mg/L max
HIERRO (Fe)*	< 0,01 mg/L	0,30 mg/L max

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr.
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 21st 2005.
- EL AGUA SE CATALOGA DE DUREZA BAJA. VER LOS PARAMETROS SEGUN LAS NORMAS AYA Y EPA ANOTADOS EN EL REVERSO.
- DIGITADO POR: LLM.
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 2006L-4.

* ENSAYO ACREDITADO



NOTA: Refiérase al código lambda para cualquier consulta.
Resultados de análisis válidos únicamente para la muestra enviada al laboratorio por el interesado.

LAMBDA R-04



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica
e-mail: lambda@racsa.co.cr • www.laboratoriolambda.com

RESULTADO DE ANALISIS # 290,156

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 28 DE AGOSTO DE 2013.

SOLICITANTE: ASADA
SAN ISIDRO GUARCO CARTAGO.

ATENCION: Sr. ALEX SOLANO.

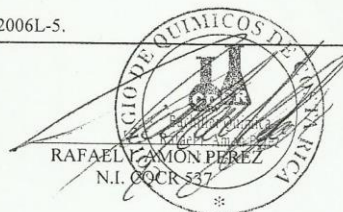


REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA FINAL RED ACUEDUCTO, RECIBIDA POR EL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 26 DE AGOSTO DE 2013.

<u>ANALISIS:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>	<u>VALORES SEGUN DECRETO 32327-S</u>
pH*	6,56	8,5 max
TURBIDEZ*	0,45 NTU	1 NTU max
COLOR APARENTE*	3 CU	5 max
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	187 µS/cm	400 µS/cm
SOLIDOS TOTALES*	120 mg/L	---
SOLIDOS DISUELTOS*	120 mg/L	1000 mg/L max
SOLIDOS SUSPENDIDOS*	< 6 mg/L	---
ALCALINIDAD (FF expresada como CaCO ₃)*	< 1 mg/L	---
ALCALINIDAD TOTAL (RM expresada como CaCO ₃)*	48 mg/L	---
DUREZA TOTAL (expresada como CaCO ₃)*	39 mg/L	500 mg/L max
DUREZA DE CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)**	39 mg/L	---
DUREZA DE NO-CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)**	< 1 mg/L	---
CALCIO (Ca)*	14,7 mg/L	100 mg/L
MAGNESIO (Mg)*	0,5 mg/L	50 mg/L max
CLORUROS (Cl)*	3,5 mg/L	250 mg/L max
SULFATOS (SO ₄)*	2,0 mg/L	250 mg/L max
SILICE (SiO ₂)*	18,9 mg/L	---
AMONIO (NH ₄)**	0,11 mg/L	0,50 mg/L max
HIERRO (Fe)*	< 0,01 mg/L	0,30 mg/L max

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- * ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr.
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 21st 2005.
- EL AGUA SE CATALOGA DE DUREZA BAJA. VER LOS PARAMETROS SEGUN LAS NORMAS Aya Y EPA ANOTADOS EN EL REVERSO.
- DIGITADO POR: LLM.
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 2006L-5.



NOTA: Refiérase al código lambda para cualquier consulta.
Resultados de análisis válidos únicamente para la muestra enviada al laboratorio por el interesado.

LAMBDA R-04

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 23 DE ABRIL DE 2013.

SOLICITANTE: ASADA
SAN ISIDRO GUARCO CARTAGO.

ATENCION: Sr. ALEX SOLANO.



REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA DE LA NACIENTE SAN ISIDRO GUARCO, RECIBIDA POR EL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 17 DE ABRIL DE 2013.

<u>ANALISIS:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>	<u>VALORES SEGUN DECRETO 32327-S</u>
pH*	7,53	8,5 max
TURBIDEZ*	0,18 NTU	1 NTU max
COLOR APARENTE*	3 CU	5 max
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	118 µS/cm	400 µS/cm
SOLIDOS TOTALES*	96 mg/L	---
SOLIDOS DISUELTOS*	96 mg/L	1000 mg/L max
SOLIDOS SUSPENDIDOS*	< 6 mg/L	---
ALCALINIDAD (FF expresada como CaCO ₃)*	< 1 mg/L	---
ALCALINIDAD TOTAL (RM expresada como CaCO ₃)*	62 mg/L	---
DUREZA TOTAL (expresada como CaCO ₃)*	59 mg/L	500 mg/L max
DUREZA DE CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)**	59 mg/L	---
DUREZA DE NO-CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)**	< 1 mg/L	---
CALCIO (Ca)*	15,3 mg/L	100 mg/L
MAGNESIO (Mg)*	5,1 mg/L	50 mg/L max
CLORUROS (Cl)*	8,9 mg/L	250 mg/L max
SULFATOS (SO ₄)*	0,5 mg/L	250 mg/L max
SILICE (SiO ₂)*	23,9 mg/L	---
AMONIO (NH ₄)**	0,07 mg/L	0,50 mg/L max
HIERRO (Fe)*	< 0,01 mg/L	0,30 mg/L max

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- * ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eoa.or.cr.
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 21st 2005.
- EL AGUA SE CATALOGA DE DUREZA BAJA. VER LOS PARAMETROS SEGUN LAS NORMAS AYA Y

ANEXO 4 – Fotografías del acueducto San Isidro, El Guarco, Cartago.



Figura A. 4.1. Captación de fuente superficial.

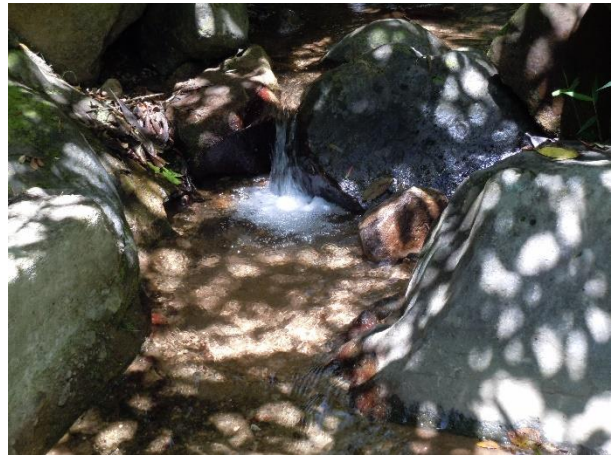


Figura A.4.2. Caudal en temporada seca de la captación El Cubano.



Figura A.4.3 y A.4.4 Tubos que captan el agua para distribuirlo al tanque de reunión.



Figura A.4.5 y A.4.6 Tanque de reunión El Cubano.



Figura A.4.7 y A.4.8 Planta potabilizadora del acueducto.



Figura A.4.9. Cloración por pastillas



Figura A.4.10. Fuga en válvula bypass.



Figura A.4.11 y A.4.12. Agua del desarenador y estructura interna.



Figura A.4.13 Toma de muestra y agua turbia del filtro.

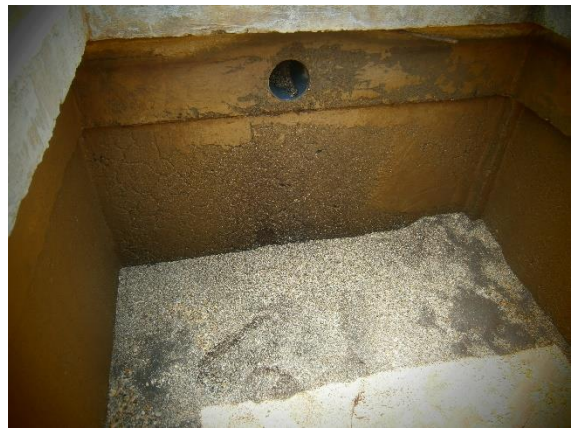


Figura A.4.14 y A.4.15 Arena sucia del filtro y tanque vacío con arena.

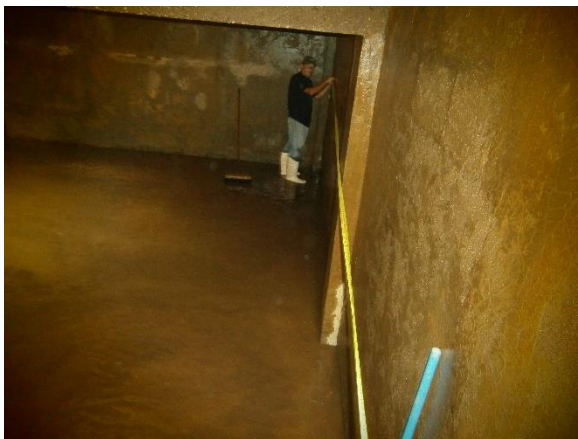


Figura A.4.16 y A.4.17 Tanque de almacenamiento y medición de sus partes internas.

ANEXO 5- Datos del Instituto Meteorológico Nacional

5.1 Tabla de resumen mensual de precipitación. Estación Linda Vista, El Guarco (IMN,2013).

Instituto Meteorológico Nacional													September 16, 2013 3:00 PM	
Resumen Mensual de Precipitación													usuario:WARIAS	
073 018 LINDA VISTA, EL GUARCO				Latitud: 09 ° 50 ' N				Longitud: 83 ° 58 ' O				Altitud. 1400 m.		
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total.	
2008	40.7	14.9	23	42	400.3	149.6	193.8	237.1	365.8	447.2	152.2	39.1	2105.7	
2009	20.4	36.4	28.1	4.4	147.2	331.3	94.3	59.2	109.8	285	125.6	27.9	1269.6	
2010	9.6	24.4	9.2	74.4	159.2	278.6	231.1	334.3	405.1	146.7	245.4	72.5	1990.5	
2011	46.4	7.8	10.7	3.6	157.5	153.8	261.7	113	183.6	536.7	74.7	88	1637.5	
2012	11.8	31.2	33.3	141.6	177.5	89.1	180.4	79.9	56.6	264.4	104.1	32.9	1202.8	
2013	2.2	1.4	38.7	17.2	135	186	94.4	89.3					564.2	
Prom.	21.9	19.4	23.8	47.2	196.1	198.1	176.0	152.1	224.2	336.0	140.4	52.1	1587.2 *	
D.S.	17.9	13.7	12.0	53.5	101.0	90.1	69.4	109.3	154.6	155.1	65.2	26.6	868.2 *	
Min.	2.2	1.4	9.2	3.6	135	89.1	94.3	59.2	56.6	146.7	74.7	27.9		
Max.	46.4	36.4	38.7	141.6	400.3	331.3	261.7	334.3	405.1	536.7	245.4	88		

Espacio en blanco = ausencia de dato

* = suma de promedios

5.2 Tabla de temperatura media mensual en función a valores horarios. Estación Linda Vista, El Guarco (IMN, 2013).

tehor_med99_2006		INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL												16/09/2013	
Usuario:WARIAS		TEMPERATURA													
														Media mensual en función a valores horarios	
73 018 LINDA VISTA, EL GUARCO				Lat. 9 ° 50 ' 1 ' ' N				Long. 83 ° 58 ' 15 ' ' O				Alt. 1400			
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pro.		
2008	17.0	17.0	17.6	18.7	19.2	19.1	18.3	18.1	18.3	18.0	17.2	17.2	18.0		
2009	16.8			19.0		19.3	19.8		19.4	18.6			18.8		
2010		18.5	19.2	19.3	20.2	19.4	18.9	19.4	19.0	19.2	17.7	16.4	18.8		
2011	17.1	17.8	17.9	19.3	19.7	20.0	19.2	19.5	23.2	18.7	18.6	18.0	19.1		
2012	18.0	18.3	18.1	19.2		20.4	19.8	20.3	20.5	20.0	19.1	19.4	19.4		
2013	19.2	19.6	17.9	21.0	21.0	19.4	19.6	19.9					19.7		
Pro.	17.6	18.2	18.1	19.4	20.0	19.6	19.2	19.4	20.1	18.9	18.2	17.8			

5.3 Tabla de precipitación, valor máximo anual en 24 horas. Estación Linda Vista, El Guarco (INM,2013).

Instituto Meteorológico Nacional
Precipitación, mm.

Valor Máximo Anual en 24 hrs

71 18 LINDA VISTA, EL GUARCO Latitud: 09 ° 50 ' N Longitud: 83 ° 58 ' O Altitud: 1400 m.

Valor Máximo	Fecha
75.4	22/09/1951
81.0	27/09/1952
49.8	27/09/1953
77.7	25/06/1954
136.4	13/10/1955
103.0	23/05/1956
81.0	20/09/1957
62.5	19/05/1958
61.5	17/10/1959
51.0	19/06/1960
60.0	06/09/1961
60.0	22/09/1962
105.0	11/04/1963
85.0	19/09/1964
81.0	07/09/1965
84.0	02/06/1966
56.5	02/06/1967
77.0	24/11/1968
74.0	16/12/1969
55.5	26/09/1970
84.0	12/10/1971
88.0	28/09/1972
73.0	26/06/1973
99.0	09/05/1974
71.0	23/09/1975
70.0	14/10/1976
55.0	24/05/1977
64.5	25/09/1978
60.2	23/10/1979
55.5	28/05/1980
71.1	26/08/1981
60.4	22/10/1982
58.5	27/08/1983
79.7	26/05/1984
60.8	03/06/1985
64.2	12/10/1986
85.4	19/07/1987
70.8	27/05/1988
62.9	21/09/1989
92.4	11/10/1990
96.2	30/05/1991
56.6	13/07/1992
67.2	21/11/1993
65.6	09/11/1994
73.6	18/04/1995
67.5	27/07/1996
67.7	04/06/1997

Instituto Meteorológico Nacional
Precipitación, mm.

Valor Máximo Anual en 24 hrs

73 18 LINDA VISTA, EL GUARCO Latitud: 09 ° 50 ' N Longitud: 83 ° 58 ' O Altitud: 1400 m.

Valor Máximo	Fecha
66.0	06/07/1998
68.0	01/10/1999
63.5	20/09/2000
44.7	15/11/2001
67.0	28/09/2002
68.0	18/06/2003
70.1	07/11/2004
62.7	05/06/2005
67.0	17/07/2006
61.0	31/08/2007
67.0	20/05/2008
70.2	19/09/2009
65.0	03/11/2010
66.0	30/07/2011
76.5	28/07/2012
59.0	30/06/2013

ANEXO 6. Perfil 2 de la tubería de conducción de la naciente 2 hasta el tanque quiebra gradiente.

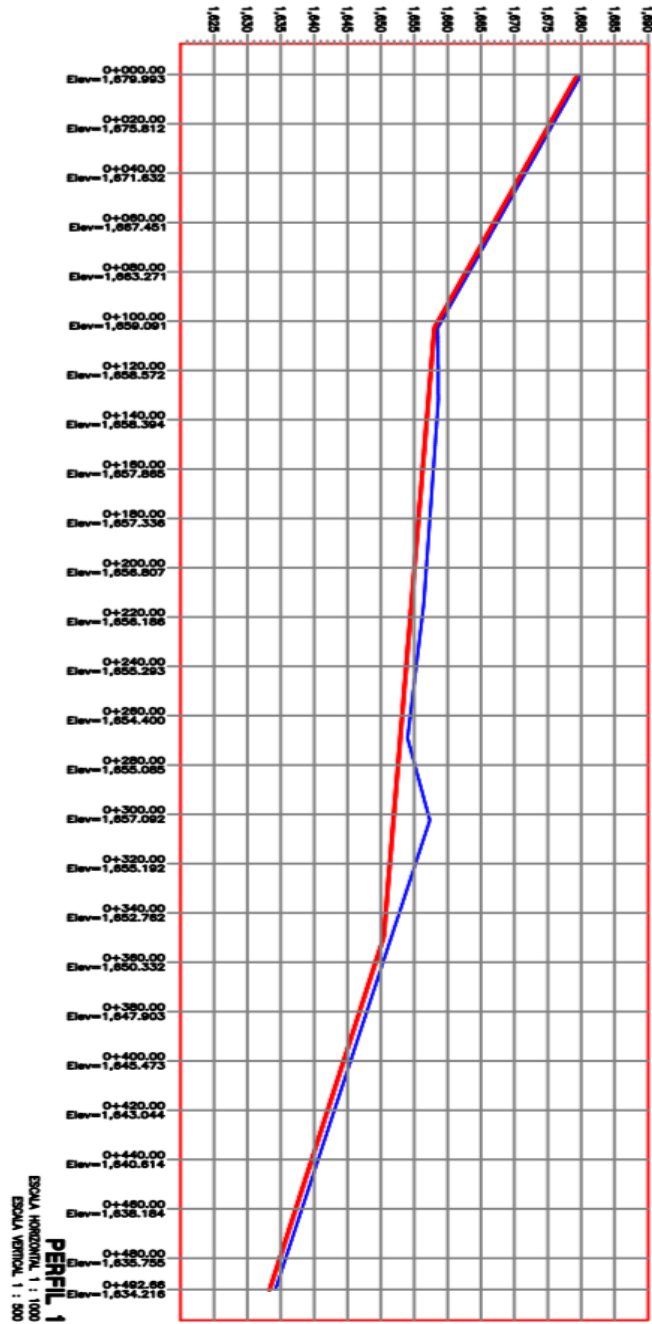


Figura A.6.1. Perfil 2 de la tubería de conducción .

ANEXO 7. Cálculos de diseño del tanque de almacenamiento.

Aplicando la fórmula del método geométrico se obtiene un i de:

$$i = (9828/9165)^{1/11} - 1 = 0.00636 \approx 0.64 \%$$

Se utilizó esta tasa de crecimiento para obtener la población del proyecto a 20 años.

$$P_f = P_o (1 + i)^t$$

$$P_{2033} = 3300 (1 + 0.00636)^{20} = 3747 \text{ habitantes}$$

Caudal Medio Diario:

$$Q_{md} = \frac{\text{Num de habitantes} * \text{Dotación}}{86\,400}$$

$$Q_{md} = \frac{3747 * 200}{86\,400} = 8,67 \text{ L/s}$$

Caudal Máximo Diario:

$$Q_{max.d} = k_1 * Q_{md}$$

$$Q_{max.d} = 1.5(8,67) = 13,01 \text{ L/s}$$

Caudal Máximo Horario:

$$Q_{max.h} = k_2 * Q_{md}$$

$$Q_{max.h} = 2.25(8,67) = 19,52 \text{ L/s}$$

Volumen de regulación:

$$V_r = C * Q_{max.d}$$

$$V_r = 0.30 (0,013)(86400)(1) = 337,23 \text{ m}^3$$

Donde:

V_r = Volumen de regulación en m³

C= Coeficiente de regulación

Sistemas con tanques semienterrado 0,15 a 0,30

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo diario en m³/d

t_r = Tiempo en días (1 día como mínimo)

Volumen de reserva:

$$V_{re} = 3,6 * Q_{max.d} * t_{re}$$

$$V_{re} = 3,6(13,01)(4) = 187,35 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{re} = Volumen de reserva en m³

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo diario en l/s

t_{re} = Tiempo de reserva en horas (entre 2 a 4 horas)

Así que para conocer el volumen contra incendios se aplica la siguiente fórmula:

Volumen contra incendios

$$V_i = 3,6 * Q_i * t_i$$

$$V_i = 3,6(10)(2) = 72 \text{ m}^3$$

Donde:

V_i = Volumen contra incendios en m³

Q_i = Caudal contra incendios en l/s

t_i = Tiempo en horas (entre 2 a 4 h)

ANEXO 8. Declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público y reforma de leyes conexas.

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE COSTA RICA

**DECLARATORIA DEL SERVICIO DE HIDRANTES COMO
SERVICIO PÚBLICO Y REFORMA DE LEYES CONEXAS**

**INFORME SOBRE LA REDACCIÓN FINAL
DEL TEXTO APROBADO EN PRIMER DEBATE
(30 de abril de 2008)**

EXPEDIENTE N.º 16.471

**SEGUNDA LEGISLATURA
(Del 1º de mayo de 2007 al 30 de abril de 2008)**

**SEGUNDO PERÍODO DE SESIONES EXTRAORDINARIAS
(Del 1º de diciembre de 2007 al 30 de abril de 2008)**

**DEPARTAMENTO DE COMISIONES LEGISLATIVAS
COMISION PERMANENTE ESPECIAL DE REDACCIÓN**

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE COSTA RICA

DECRETA:

**DECLARATORIA DEL SERVICIO DE HIDRANTES COMO
SERVICIO PÚBLICO Y REFORMA DE LEYES CONEXAS**

CAPÍTULO I

DECLARATORIA COMO SERVICIO PÚBLICO

ARTÍCULO 1.- Declárase servicio público la instalación, el desarrollo, la operación y el mantenimiento de los hidrantes.

ARTÍCULO 2.- El desarrollo de la red de hidrantes, su instalación, operación y mantenimiento, serán responsabilidad de los operadores de los sistemas de distribución del servicio de agua potable, públicos o privados, según el área concesionada.

ARTÍCULO 3.- La Autoridad Reguladora de Servicios Públicos reconocerá, entre las estructuras tarifarias del servicio de acueducto, los costos y las inversiones necesarios para la instalación, el desarrollo, la operación y el mantenimiento de los hidrantes. Los demás asuntos de este servicio se regularán conforme a lo establecido en la Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, N.º 7593, de 9 de agosto de 1996, y sus reformas.

ARTÍCULO 4.- Designase al Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros (INS), como instancia técnica consultiva que coordinará, con los operadores de los sistemas de distribución del servicio de agua potable, públicos o privados, todo lo referente a la definición de los tipos de hidrantes, sus ubicaciones, caudales y prioridad en la instalación.

CAPÍTULO II

REFORMA A OTRAS LEYES

ARTÍCULO 5.- Refórmase el inciso c) del artículo 5 de la Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, N.º 7593, de 9 de agosto de 1996, y sus reformas. El texto dirá:

"Artículo 5.- Funciones

[...]

- c) Suministro del servicio de acueducto y alcantarillado, incluso el agua potable, la recolección, el tratamiento y la evacuación de las aguas

Comisión Permanente Especial de Redacción
(Atendida en la Sala Segunda)

negras, las aguas residuales y pluviales, así como la instalación, la operación y el mantenimiento del servicio de hidrantes.

[...]

ARTÍCULO 6.- Modificase el inciso f) del artículo 16 de la Ley de planificación urbana, N.º 4240, de 15 de noviembre de 1968, y sus reformas. El texto dirá:

"Artículo 16.-

[...]

- f) Los servicios públicos, con análisis y ubicación en forma general de los sistemas e instalaciones principales de cañerías, hidrantes, alcantarillados sanitarios y pluviales, recolección y disposición de basuras, así como cualquier otro de importancia análoga.

[...]

ARTÍCULO 7.- Refórmase el artículo 87 de la Ley de construcciones, N.º 833, de 2 de noviembre de 1949, y sus reformas. El texto dirá:

"Artículo 87.- La municipalidad ejercerá vigilancia sobre las obras que se ejecuten en su jurisdicción, así como sobre el uso que se les dé. Además, tendrá la misión de vigilar la observancia de los preceptos de esta Ley.

Al desarrollador, la entidad o empresa promotora de obras públicas o privadas que construyan nuevas urbanizaciones, centros comerciales, multifamiliares, construcciones sujetas al régimen de propiedad horizontal, industria y comercio, en general, así como cualquier otra edificación, les corresponderá instalar los hidrantes, conforme al ordenamiento jurídico respectivo. Esta disposición solo se aplica en los casos de edificaciones cuya área de construcción supere los 2000 metros cuadrados, siempre y cuando no existan hidrantes cercanos, según los parámetros dispuestos en la normativa vigente.

Las municipalidades deberán verificar, en los proyectos o las edificaciones señalados en el párrafo anterior, que los hidrantes se encuentren debidamente instalados y conectados a sus fuentes. El cumplimiento de este requisito será obligatorio para los permisos de funcionamiento, operación o aceptación de obras.

ARTÍCULO 8.- El Reglamento de esta Ley será emitido en un plazo máximo de seis meses, contado a partir de su publicación.

Rige a partir de su publicación.

Comisión Permanente Especial de Redacción
(Atendida en la Sala Segunda)

DADA EN LA SALA DE SESIONES DE LA COMISIÓN PERMANENTE ESPECIAL DE REDACCIÓN.- San José, a los treinta días del mes de abril de dos mil ocho.

Clara Zomer Rezier

Orlando Hernández Murillo

Yalile Esna Williams

Alberto Salom Echeverría

Saturnino Fonseca Chavarría

G:16471R-3-FIN
*Vicky
Fecha:29/04/2008